(IÖW) Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH
Giesebrechtstr. 13, 1000 Berlin 12

Schriftenreihe des IÖW 5/87

Nicholas Georgescu-Roegen:

THE ENTROPY LAW AND THE ECONOMIC PROCESS IN RETROSPEKT

Deutsche Erstübersetzung durch das IÖW
mit Geleitworten von Eberhard K. Seifert und Anhängen

Berlin 1987

ISBN 3-926930-01-2

INHALTSVERZEICHNIS

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH

Die aktuellen und zukünftigen Probleme der Wirtschafts- und Gesellschaftspolitik werden nur auf dem Weg der systematischen Verknüpfung ökonomischen, ökologischen und sozialwissenschaftlichen Sachverstands zu bewältigen sein.
Daraus folgt ein wachsender Bedarf an innovativer, ergebnisorientierter Forschung, an interdisziplinärer Theoriebildung und Politikberatung. Mit diesem Verständnis akquiriert das IÖW Forschungsprojekte und Gutachten, veranstaltet Fachtagungen und veröffentlicht die Ergebnisse seiner Arbeit in einem regelmäßig erscheinenden "Informationsdienst" sowie der institutseigenen Schriftenreihe.

E D I T O R I A L

Mit dieser deutschen Erstübersetzung des zuerst 1986 im "Eastern Economic Journal" erschienen Beitrages von Prof. Georgescu-Roegen eröffnet das IÖW seine Schriftenreihe auch Außenstehenden, deren Arbeiten unserer Meinung nach zur ökologischen Wirtschaftsforschung im weitesten Sinne beitragen und auf diesem Wege entweder hierzulande überhaupt erst einem breiteren Interessentenkreise bekanntgemacht oder denen zu einer gezielteren Auseinandersetzung verholfen werden soll.

Das Werk von Georgescu-Roegen eignet sich wie kaum das eines anderen zur Eröffnung dieser fortzusetzenden Reihe, steht doch sein jahrzehntelanges Bemühen um eine paradigmatische Wende in der ökonomischen Theorie in dem augenfälligen Widerspruch von weltweiter Reputation einerseits und dem fast beschämenden Umstand andererseits, daß sein umfangreiches Schrifttum selbst innerhalb der westdeutschen Ökonomenzunft - von Experten abgesehen - kaum bekannt und rezipiert ist. Wenig verwunderlich ist es daher, daß bislang in deutscher Übersetzung so gut wie nichts vorliegt.

Das IÖW möchte mit dieser Retrospektive Georgescu-Roegens auf rd. 2o Jahre Diskussion um sein Werk, v.a. aber das zugrundeliegende Problem dazu beitragen, daß endlich auch im deutschsprachigen Raum eine Auseinandersetzung mit seinen für das ökonomisch-ökologische Problem wichtigen Arbeiten in Gang gesetzt wird.

Diese Arbeiten sind nicht gerade leicht zugänglich, selbst wenn man englisch liest, übersteigen sie doch bei weitem die ökonomischen Fachgrenzen und greifen ein in zeitgenössische naturwissenschaftliche und philosophische Debatten; auch und womöglich gerade vorliegender Text wird Verständnisprobleme hervorrufen, denn er ist kein Einführungsbeitrag, sondern eher ein vorläufiges Resumee zu einer grundlegenden Revision ökonomischen Denkens, das Georgescu-Roegen seit nunmehr rd. 2o Jahren in völlig neue - ökologisch höchst bedeutsame - Bahnen zu lenken bestrebt ist. Wie so oft bei originären, kreativen Wissenschaftlern begegnen wir hierbei dem Umstand, daß im Zuge dieses Prozesses spezifisch neue Begrifflichkeiten geschaffen und später selbstverständlich gebraucht werden, ohne sie fortwährend immer wieder neu zu explizieren. So verhält es sich auch bei Georgescu-Roegen und insbesondere vorliegende "summary" macht aus Raumgründen vielfältigen Gebrauch von früher eingeführten Termini, Bedeutungsräumen oder illustrativen Beispielen, wie bspw. "arithmomorph", "endosomatik - exosomatik", "verfügbare - unverfügbare Energie/ Materie", "Standardökonomie", "Carnot-Prozeß", "prometheische Erfindung", etc.p.p. - ganz abgesehen von seiner Deutung und Erweiterung der thermodynamischen Gesetze. Der Leser sollte aber gewiß sein, daß er zu alledem hinreichenden Aufschluß erfährt, sobald er sich die Mühe macht, sich eingehender mit dem Werk von Georgescu-Roegen zu befassen und die offenen Fragen als Einladung zu einem Gang durch einen üppigen Garten von Reflektionen zu verstehen, die (selten genug in der Ökonomie) Fachwissen mit Bildung zu verbinden wissen: "In one sentence he quotes Aristotle and in the next Pareto or von Neumann", wie Samuelson in seinem Vorwort zu Roegens "Analytical Economics" aus dem Jahre 1966 diese Fähigkeit charakterisierte.

Es schien daher ratsam, wenigstens einige begleitende Worte zur Person und zum Werk dieses gelernten Mathematikers und Schülers von Joseph Schumpeter der Übersetzung beizufügen, die natürlich weder eine erschöpfende Erklärung noch eine kritische Würdigung seines Gesamtansatzes leisten können. (Im Anhang 2 findet sich eine Auswahl aus diesem umfangreichen Werk) Für einen solchen Versuch haben zwei seiner rumänischen Landsleute erst kürzlich rd. 2oo Buchseiten gebraucht, die sie unter den Titel gestellt haben: Entropy and Bioeconomics. The new Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen (Dragan/Demetrescu, Milano 1986) - dies ist vielleicht eine treffende Kurzformel der Intention von Georgescu-Roegen "Für eine menschliche Ökonomie".

Mit diesem programmatischen Titel war die deutsche Übersetzung eines Manifestes überschrieben, welches von Georgescu-Roegen unter Mitwirkung von Kenneth Boulding und Herman Daly entworfen und von über 2oo Ökonomen in den USA unterschrieben wurde (s.a. Anhang 1).

Obwohl nun schon über achtzigjährig, hat Georgescu-Roegen es nicht gescheut, im Frühjahr 1987 aus den USA eigens zu einer Tagung anzureisen, die in der Evangelischen Akademie Arnoldshain zum Thema: "Ökonomie und Zeit" vom Unterzeichner in Kooperation mit dem dortigen Fachvertreter und Institutsdirektor, Dr.Jens Harms, veranstaltet wurde (s.a. den gleichnamigen Reader, der im Verlag Haag & Herchen/Ffm. erscheinen wird, sowie einen kurzen Tagungsbericht im IÖW-Informationsdienst-Nr.3/1987 von Dr. Jan Robert Bloch).

Erst solche Begegnungen auf persönlicher Ebene ermöglichen letztlich ein durch die Integrität des Menschen vermitteltes tieferes Verständnis der Intentionen eines Lebenswerkes. (Interessenten können das mir zur Verfügung gestellte, von Roegen selbst erstellte curriculum vitae einschließlich der bis 1987 reichenden, vollständigen Publikationsliste über die IÖW-Geschäftsstelle zum Selbstkostenpreis beziehen). Wir danken Georgescu-Roegen daher für die auf sich genommenen Strapazen der Tagungsteilnahme und des anschließenden Vortrages in Berlin, wo er in einer Kooperationsveranstaltung von WZB/IIUG und IÖW ebenfalls referierte, sowie natürlich für seine freundliche Genehmigung zur ersten deutschen Übersetzung dieser "Retrospektive".

Wir danken ferner Jutta Ley in Berlin für ihr beträchtliches Engagement für diese Übersetzung, mit dem sie - unterstützt vom fachlichen Rat des Unterzeichners - alle Hürden eines Textes bewältigte, dessen doppelbödige Ironie oftmals schier unübersetzbar erschien. Ferner David Weißert, der das sozioökonomische Minimalprogramm übersetzte.

Und last, but not least sei hier ausdrücklich auch Prof. K.M. Meyer-Abich gedankt, dessen Interesse am Werk von Georgescu-Roegen sich nicht nur durch seine Gegenwart beim Vortrag in der Universität Hamburg und Empfang im Amerikahaus zu Ehren Roegens ausdrückte, sondern der in seiner Funktion als Senator für Wissenschaft und Bildung der Freien und Hansestadt Hamburg durch eine Reisekostenbeteiligung überhaupt erst das Herkommen von Georgescu-Roegen ermöglichte; in diesen pro domo-Hamburg Dank seien schließlich auch Prof. Scherf und die seiner Einladung zum Vortrag im Fachbereich Wirtschaftswissenschaft folgenden Fachkollegen einbezogen, die damit nicht zuletzt auch einen Gelehrten ehrten, in dem - via Schumpeter - spezifische Traditionen der Ökonomie des deutschsprachigen Raumes lebendig sind.

Eberhard K. Seifert Hamburg, Herbst 1987

ENTROPIEGESETZ UND ÖKONOMISCHER PROZESS IM RÜCKBLICK

Nicholas Georgescu-Roegen

Präambel

Vor zwanzig Jahren beendete ich den einleitenden Aufsatz zu meinem 1966 erschienenen Buch "Analytical Economics", woraus 1971 in einer zweiten Ausgabe der Band "The Entropy Law and the Economic Process" entstand. So wurde der Leitgedanke - nämlich, daß der ökonomische Prozeß in allen seinen materiellen Bestandteilen entropisch ist - vom ersten in den zweiten Band übernommen. Die Reaktion bei meinen Kollegen in den Wirtschaftswissenschaften auf diese Idee und besonders auf ihre für das Wirtschaftsleben relevanten Aussagen war derart, daß anläßlich einer erneuten Überprüfung meiner Thesen, wie ich sie in verschiedenen aufeinanderfolgenden Schriften weiter entwickelt habe, die Klärung einiger strittiger Punkte notwendig erscheint. (1)

Der phänomenologische Kern des Entropiegesetzes

Das Entropiekonzept ist so kompliziert, daß selbst Physiker damit ihre Schwierigkeiten haben (NGR, 1966, S. 77, 1971, S. 147). Ökonomen, die sich in jüngerer Zeit diesem Thema näherten, gingen daher auch fehl, nur von der analytischen Formel des Entropiegesetzes auszugehen (welche in einigen Ansätzen auf drei Arten ausgedrückt wird). Entropie hingegen hat jedoch, wie auch Energie, Kraft, Raum und andere physikalische Begriffe, eine phänomenologische Bedeutung, die allein von grundlegendem Interesse für Experten und Laien ist.

Beginnen wir damit, den Kern des Problems selbst zu betrachten, so wie das jeder, der eine neue Materie untersucht, tun sollte. Der Weg zum Verständnis dessen, was Entropie ist, beginnt mit der primären Unterscheidung zwischen v e r f ü g b a r e r und n i c h t v e r f ü g b a r e r Energie. Diese Unterscheidung ist unverkennbar anthropomorph (mehr als jedes andere Konzept in den Naturwissenschaften). Energie ist in der Tat verfügbar oder nicht verfügbar, je nachdem ob wir Menschen sie für unsere eigenen Zwecke gebrauchen können.
Das Wesentliche der thermodynamischen Hauptgesetze läßt sich jenseits aller technischen Gleichungen wie folgt beschreiben: In einem isolierten System bleibt der Gehalt an Energie konstant (erstes Gesetz), während die verfügbare Energie ständig und unwiderruflich in nicht verfügbare Zustände übergeht (zweites Gesetz). Hierbei ist besonders hervorzuheben, daß ein isoliertes System weder Energie noch Materie mit seiner "Umgebung" austauschen kann. Genau genommen existiert nur ein geschlossenes System, das Universum als ganzes, auf welches Clau-

sius (1867, S. 365) bezeichnenderweise seine berühmte Formulierung als "Stanza" der thermodynamischen Gesetze zurückführte:

> Die Energie des Universums ist konstant.
> Die Entropie des Universums tendiert zu einem Maximum.

Bis zu diesem Punkt, alle technischen Details einmal beiseite gelassen, brauchen wir die Entropie lediglich als einen Index für den Betrag verfügbarer Energie im Verhältnis zur absoluten Temperatur des entsprechenden geschlossenen Systems betrachten:

(1) Entropie = nicht verfügbare Energie/Temperatur,

wie die entsprechende technische Gleichung lautet.

Wenn wir sagen, daß die nicht verfügbare Energie in einem isolierten System von selbst zunimmt, also die verfügbare Energie nach "Null" strebt, so müssen wir notwendigerweise spezifizieren, daß "Zunahme" und "Abnahme" sich auf die Richtung der Zeit beziehen, wie sie durch das menschliche Bewußtsein repräsentiert ist. Diese Bedingung wird im allgemeinen ignoriert, obwohl es keinen anderen Weg gibt herauszufinden, in welche Richtung die Zeit fließt. Man kann das Gesetz der Entropie demnach folgendermaßen formulieren:

(2) $t_1 \; C \; t_2 \rightarrow E_1 \leq E_2$,

wobei t_1 und t_2 zwei Momente des ordinalen Zeitflußes sind und C "früher als" meint. Oder,

(3) $E_1 < E_2 \rightarrow t_1 \; C \; t_2$.

Im Klartext: Wenn $E_1 = E_2$, so handelt es sich um ein System maximaler Entropie, wobei die gesamte Energie unverfügbar ist und sich nichts mehr ereignen kann. In diesem Fall kann Entropie nicht als "Zeit-Pfeil" (time-arrow) dienen, um die treffende Formulierung von Sir Arthur Eddington zu benutzen.

Die Bedingung, daß das System isoliert sein muß, ist verständlich: Wenn Energie oder Materie herein- und hinauskommen kann, wie z.B. das Geld bei einem Bankguthaben, so können wir nicht von "Konstanz" oder einer stetigen "Zunahme" sprechen. Andererseits sind die Systeme unserer Erfahrungswelt alle entweder geplant (in diesem Fall wird Energie, jedoch nicht Materie mit der "Umgebung" ausgetauscht) oder offen (in diesem Fall kann sowohl Energie als auch Materie ausgetauscht werden). Entropie kann in diesen beiden Systemen offensichtlich sehr wohl abnehmen. So mag es deshalb scheinen, als ob das Entropiegesetz für jedes mit uns in Verbindung stehende reale System, folglich auch für den Wirtschaftsprozeß, von keinerlei Relevanz ist. (2) Dieser Punkt erzeugte einige Aufregung bei zahlreichen Ökonomen, die die herkömmliche Ökonomie gegen den Vorwurf zu verteidigen suchten, daß sie eine einseitige Disziplin sei, die den Markt als nur vom Geld regiert betrachte. (3)

Was diejenigen, die die Bedeutsamkeit des Entropiegesetzes für die Ökonomie leugnen, versäumen zu realisieren, ist, daß eine meßbare Koordinate auf welchem Gebiet auch immer auf eine Si-

tuation bezogen sein muß, die jede mögliche Abänderung ihres Wesens ausschließt. Unter Wissenschaftlern sollten gerade Ökonomen verstehen, daß die Ruhemasse eines Teilchens dem isolierten Teilchen zuzuordnen ist. Ein Bankguthaben kann nicht bestimmt werden, wenn Schecks gleichzeitig gutgeschrieben und abgebucht werden. Wenn ein Kontoinhaber mit einem Girokonto und einem Sparkonto seine Bank angewiesen hat, per Dauerauftrag eine bestimmte Summe von seinem Girokonto auf sein Sparkonto zu überweisen, so ist dies ein gutes Beispiel für die allgemeine Relevanz des Entropiegesetzes. Wenngleich sein Bank-System durch ständige Einzahlungen und Abbuchungen nicht isoliert ist, findet eine interne "Abnahme" von verfügbarem Geld in gespartes Geld statt. Es ist dann eine Routineangelegenheit, den Betrag dieser Verminderung festzustellen. Dies ist eine einfache Illustration dafür, wie entropische Abnahme in absolut allen Systemen stattfindet; eine Erscheinung, die im Buchhaltungswesen mit der Standardformel

(4) $\Delta S = \Delta S_e + \Delta S_i$

ausgedrückt wird. Dabei ist ΔS die Änderung der Entropie des Systems (welcher Art auch immer) während eines Zeitintervalls t_1 C t_2. ΔS_e ist der Nettoentropieaustausch mit der Umgebung und ΔS_i ist die Entropie, die während dieses Intervalls innerhalb des Systems geschaffen wird. Alles, was die Grundform des Entropiegesetzes aussagt, ist:

(5) $\Delta S_i \geq 0.$

Die Gleichheit gilt nur bei maximaler Entropie des Ausgangsstadiums. Diese Situation ist analog dem allgemeinen Gesetz der Nachfrage, wo man nur weiß, daß der Substitutionseffekt negativ oder Null ist, der Gesamteffekt aber negativ wie positiv sein kann. Also kann hier ΔS, obwohl $\Delta S_i \geq 0$, in einer beliebigen Situation irgendein Vorzeichen haben.

Das Entropiegesetz und die endliche menschliche Natur

Wir sollten bedenken, daß - anders als bei den meisten anderen Naturgesetzen - alle thermodynamischen Gesetze eine Unmöglichkeit ausdrücken. Das Entropiegesetz behauptet zum Beispiel, daß $\Delta S_i < 0$ unmöglich ist. Das gleiche Gesetz drückt sich in einer weiteren Unmöglichkeit aus: Thermische Energie von gleichbleibender Temperatur kann nicht in Arbeit umgewandelt werden. Wie Lord Kelvin schon vor langer Zeit herausfand, können sich Schiffe nicht mittels der Energie des Meerwassers fortbewegen, so gewaltig diese Energie auch ist; denn bis zu einer gewissen Tiefe ist diese Energie von gleichbleibender Temperatur. Das Gesetz von Lord Kelvin erinnert an das aufgestellte Prinzip von Sadi Carnot, der die Thermodynamik als eine Physik von ökonomischer Bedeutung begründete. (NGR, 1966, S. 92; 1971, S. 276) Carnot wies nach, daß man aus zwei Speichern unterschiedlicher Temperatur Arbeit gewinnen kann. Die Aussage von Lord Kelvin ist jedoch zwingender, da sie jeden anderen Weg, Arbeit zu gewinnen, ausschließt.

Daß aber thermische Energie von gleichbleibender Temperatur nicht bloß aus rein technischen Gründen unverfügbar ist, ist ein Aspekt, der von allen Interpreten des Entropiegesetzes völlig übersehen wird. Diese spezielle Energie ist nur aufgrund der endlichen menschlichen Natur unverfügbar. Die Zurückweisung der Vorstellung, daß thermische Energie von gleichbleibender Temperatur unverfügbar ist, liegt auf der Hand. Die erste Expansionsphase in einer idealen Wärmekraftmaschine, die im Carnot-Prozeß arbeitet, tut genau dies; sie wandelt einen Teil der Energie eines heißen Bades (Dampfkessel von gleichbleibender Temperatur) um in die Arbeit des Kolbens. (Van Ness, 1969, S. 37-38).

Warum ist dieselbe Umwandlung nicht darauf anwendbar, ein Schiff durch die Energie des Meerwassers fortzubewegen? Stützt man sich lediglich auf diese Art von Umwandlung, so bieten sich zwei Lösungen an. Zunächst bräuchten wir einen Kolben mit Zylinder von immenser Länge, so daß Arbeit durchwegs von einem Kolben geleistet werden könnte. Ein Geheimnis in der Beziehung zwischen Entropiegesetz und menschlicher Natur wird auf diese Art deutlich. Die Energie der Ozean-Gewässer steht uns nur deshalb nicht zur Verfügung, weil wir, als Menschen, auf die Bewegung innerhalb einer relativ kurzen Distanz beschränkt sind. Wir können nicht einem Kolben folgen, der sich immer weiter und weiter bewegt; wir müssen ihn nach einer Zeit wieder zurückbringen. Um ihn wieder zurückzubringen, braucht man jedoch verfügbare Energie. Die nötige Menge kann man freilich durch Rückverwandlung der zusätzlich gewonnenen potentiellen Energie des gehobenen Gewichtes in verfügbare Energie erhalten. Unsere Situation wäre dann aber nicht besser als am Anfang, als die Umwandlung von Energie in Arbeit in Gang gesetzt wurde.

Ein kaum beachtetes phänomenologisches Mysterium in der Wirkung des Entropiegesetzes hilft uns aus der Sackgasse. Den Kolben durch eine geringere Temperatur zurückzubewegen als bei seiner Vorwärtsbewegung, erfordert weniger Energie als die bei seiner Vorwärtsbewegung produzierte. Nur ein Teil der in der ersten Phase eines Carnot-Prozesses gewonnenen Arbeit muß wieder in Energie umgesetzt werden. Zur Erklärung: Wenn bei der Vorwärtsbewegung des Kolbens ein Gewicht um sagen wir 1,50 m gehoben wurde, so benötigen wir für das Zurückholen des Kolbens in seine exakte Ausgangsposition ein Absenken des Gewichtes um beispielsweise nur 1,20 m. Das Gewicht muß nicht, wie der Kolben, seine Ausgangsstellung zurückerlangen; seine Endstellung ist gegenüber der Ausgangsstellung um 0,30 m erhöht.

Dieser Trick bringt uns jedoch keinen Nutzen. Die vom Dampfkessel bereitgestellte Gesamtenergie entspricht der benötigten Energie, um das Gewicht 1,50 m anzuheben. Und wie Lord Kelvin zeigte, geht die entsprechende Differenz zu der Energie, die man benötigt, um das Gewicht 1,20 m anzuheben, nicht verloren; sie kann nur durch dasselbe System der Umsetzung nicht mehr in Arbeit umgewandelt werden. Diese Energie hat den Dampfkessel verlassen und endet im Kondensator, welcher nicht gut als weiterer Dampfkessel dienen kann. Sie könnte nur dann wieder verfügbar werden, wenn sie von selbst von dem kälteren Kondensator in den heißeren Dampfkessel übergehen könnte. Diese immer wie-

der bestätigte Unmöglichkeit ist die transparenteste Fassung des Entropiegesetzes (Lord Kelvin und Clausius): Wärme geht immer von selbst von einem heisseren in einen kälteren Körper über, nie umgekehrt.

Die anthropomorphe Basis der Thermodynamik drückt sich auch noch auf andere Weise aus, speziell in unserer Endlichkeit. Ein Beweis: In dem genannten Beispiel (Wärmeenergie zu nutzen, um ein Gewicht um 0,30 m anzuheben) könnten wir den Prozeß rückwärts ablaufen lassen. Wir könnten die mit dem Gewicht erreichte potentielle Energie in exakt den Betrag thermischer Energie zurückverwandeln, den wir brauchten, um es hochzuheben, vorausgesetzt, unser Mechanismus wäre reibungsfrei. Es ist allgemein anerkannt, daß jeder Mechanismus reibungsfrei funktionieren könnte, wenn seine Bewegung unendlich langsam wäre. Aber dann würde schon die kleinste Bewegung praktisch unendlich viel Zeit erfordern - eine weitere Antithese zur menschlichen Natur. Wir sind als Menschen nicht unsterblich; dieses uns auferlegte Verdikt führt zu noch einem thermodynamischen Gesetz, einer weiteren Unmöglichkeit.

Das vierte Gesetz der Thermodynamik

Die thermodynamische Theorie stützt sich auf vier Gesetze - das erste: die Gesamtenergie ist konstant; das zweite: in Wirklichkeit nimmt Entropie ständig zu; das dritte: der absolute Nullpunkt der Temperatur kann nicht erreicht werden; und das "nullte" (so genannt, weil es als letztes Gesetz hinzukam, aber als das fundamentalste dem ersten vorangestellt werden müßte), welches das thermodynamische Gleichgewicht als transitiven Zustand beschreibt. In meinen früheren Schriften ging ich wie selbstverständlich davon aus, daß sich die Thermodynamik nicht nur mit der Natur (quality) der Energie beschäftigt, sondern ebenso die Natur der Materie einbezieht (Materie im Großen im Gegensatz zu mikroskopischer Materie). Zudem, dachte ich, würde Thermodynamik berücksichtigen, daß Reibung nicht nur Energie, sondern ebenso Materie vermindert.

Später mußte ich erkennen, daß ich mich geirrt hatte. Die Thermodynamik hat davor haltgemacht, alle Effekte von Reibung zu untersuchen. Dies liegt zweifellos daran, daß Reibung ein äußerst schwer zu bestimmendes Phänomen ist; offenbar so schwierig, daß R.P. Feyman zufolge (1966) jedes Gesetz, das über Reibung aufgestellt wurde, sich später mehr und mehr als falsch herausstellte. Man sollte hier die von Ilja Prigogine angeführte "Brüsseler Schule" nicht unerwähnt lassen, die das Gebiet der klassischen Thermodynamik von den geschlossenen auf die offenen Systeme erweitert hat. Doch auch in dieser Erweiterung wird nicht die Bewegung von Materie an sich,sondern lediglich die Materie als Träger von Energie betrachtet. (4)

Ich möchte zu bedenken geben, daß es eine elementare Tatsache ist, daß Materie ebenso in zwei Zuständen existiert, nämlich verfügbar und unverfügbar und daß sie genau wie Energie ständig und unwiderruflich von dem einen in den anderen Zustand abnimmt. Materie löst sich ebenso wie Energie in Staub auf; dies läßt sich am besten durch Rost und durch den Verschleiß von Mo-

toren und Autoreifen veranschaulichen. Es gibt jedoch hervorragende Autoren, die von der Wiederaufbereitbarkeit aller Materie ausgehen, vorausgesetzt genügend verfügbare Energie steht bereit. (5) Ein Beispiel: Wir können die Perlen einer Halskette, die zufällig in einem Zimmer gerissen ist, wieder aufsammeln und aufziehen; es wird etwas Energie, ein wenig Verschleiß von anderen Dingen (wenn auch noch so verschwindend gering) und vor allem Zeit benötigen. Darüber hinaus werden die Perlen, nachdem sie wieder aufgefädelt sind, nicht wieder so sein wie zuvor. Wenn nun aber die Perlenkette irgendwo in den Vereinigten Staaten zerrisse und wir wüßten nicht wo, so überstiege die benötigte Zeit und die Menge an Verschleiß aller an der Suche beteiligten Dinge jede Vorstellung. Dieses verschlissene Material wiederzugewinnen (recycle) würde wiederum Verschleiß verursachen und von neuem längere Zeit erfordern, die diese Unternehmung kostet. Dies ist ein unendlicher Regress. Vielleicht könnten wir sogar alles wiedergewinnen, aber nur unter der Bedingung, daß wir nicht nur über eine grenzenlose Menge an Energie, sondern auch noch über unendliche Zeit verfügen könnten (dieselbe Bedingung, die gegeben sein müßte, um das Problem der Reibung zu beseitigen). Was wiedergewonnen werden kann und auch oft wiedergewonnen wird, ist Materie, die nach wie vor zur Verfügung steht, aber in ihrer Form nicht mehr nützlich für uns ist: Glasscherben, alte Zeitungen, alte Motoren und dergleichen. (NGR, 1966, S. 95-6; 1971, 279-80, und, besonders, 1980). Die Schlußfolgerung drängt sich auf: Gerade wie ständige Arbeit nur dann auf unbegrenzte Zeit fortgesetzt werden kann, wenn sie fortwährend mit verfügbarer Energie versorgt wird, so benötigt solche Arbeit einen kontinuierlichen Nachschub an verfügbarer Materie. Der springende Punkt dabei ist, daß sowohl verfügbare Energie als auch verfügbare Materie unwiderruflich in nicht mehr verfügbare Zustände umgesetzt werden.

Ein neues, viertes Gesetz - wie ich es genannt habe - muß daher die alten klassischen thermodynamischen Gesetze ergänzen:

Ein Perpetuum mobile der dritten Art ist unmöglich

Unter einem Perpetuum mobile der dritten Art verstehe ich ein geschlossenes System, das Arbeit gleichen Grades ewig verrichtet. (6) Und man sollte dabei nicht vergessen zu bemerken, daß diese Aussage die Meßbarkeit materieller Degradation nicht erfordert. Obwohl eine solche Meßbarkeit höchst vorteilhaft wäre, scheint diese gegenwärtig nicht realisierbar.
Die Schwierigkeit dabei ist, daß die verschiedenen Formen makroskopischer Materie (Materie im Großen), anders als Energie, qualitativ nicht auf eine einzige Form reduzierbar sind.
Die Gültigkeit der unwiderruflichen Umwandlung von Materie ist davon jedoch nicht betroffen. Wichtig ist hingegen - weil die Erde praktisch ein geschlossenes System darstellt -, daß einige für die gegenwärtig "heiße" Technologie wichtige Materialien eher früher als später extrem knapp werden (in ihrer verfügbaren Form), knapper noch als die verfügbare Energie von fossilen Brennstoffen.(7) Eben dieser Schluß legt auch die logischen Schwächen des Versprechens auf ökologische Rettung durch eine Steady-State-Ökonomie offen, welches von Herman Daly (1973) so eindrucksvoll vertreten wird. (8)

Der Trugschluß der Energietheorie des ökonomischen Wertes

Herausragende Naturwissenschaftler (Ludwig Boltzmann und besonders Erwin Schrödinger) haben darauf hingewiesen, daß ein lebender Organismus nicht nur Energie braucht, sondern auch einer niedrigen Entropie bedarf, die er aus der Umgebung zieht und in hohe Entropie umwandelt (Abfall). Dieser ununterbrochene Fluß von niedriger Entropie erhält den biologischen Körper in gutem Zustand und unterstützt außerdem alle Aktivitäten des Organismus. Dadurch wird verständlich, warum eine notwendige Bedingung für einen Gegenstand, der für uns "wertvoll" ist, darin besteht, eine niedrige Entropie zu haben. Diese Bedingung ist zwar notwendig, jedoch nicht hinreichend, wie das Beispiel giftiger Pilze zeigt. Also begründet das Entropiegesetz die ökonomische Knappheit in einem weit strengeren Sinn, als dies die bloße Endlichkeit tut. Das heißt, daß der Ricardianische Boden (die Erdfläche) nur zu einer gegebenen Zeit endlich ist, nicht jedoch im Lauf der Zeit, denn wir können ihn immer wieder nutzen, ohne seinen Umfang zu verringern. (9) Da im Unterschied dazu niedrige Entropie von Energie oder Materie nur einmal genutzt werden kann, nimmt der Mangel dieser Elemente ständig zu. Dies ist das wichtigste Anschauungsbeispiel über Thermodynamik für die modernen Ökonomen.

Wenn ich also, wie im Vorwort gesagt, darauf insistiere, daß der ökonomische Prozeß in allen stofflichen Fasern entropisch ist, so hätte ich gleich hinzufügen müssen, daß er nicht allein auf die Degradation niedriger Entropie reduziert werden kann; man würde ihn dann mit den Augen eines Physikers betrachten. Denn der wahre "output" des ökonomischen Prozesses ist demgegenüber nicht eine ständige materielle Produktion von Abfall, sondern ein beispielloses beständiges Fließen, der Fluß der Freude am Leben. Wenn wir diese Bewegung wie auch viele andere spezifisch menschlichen Neigungen nicht in unser analytisches Instrumentarium einbeziehen, so bewegen wir uns nicht in der ökonomischen Wirklichkeit (NGR, 1966, S. 97; 1971, S. 282). Deshalb wird auch deutlich, daß jene Autoren (z.B. Burness, et.al. 1980), die mir die Ansicht unterstellen, daß der ökonomische Wert einer Ware durch die Größe der in ihr verkörperten Energie (niedrige Entropie) bestimmt wird, meine Schriften wohl nicht sorgfältig genug gelesen haben.

Die formale Analogie zwischen den elementaren Gleichungen der Thermodynamik und einigen von denen, die in der Ökonomie gebräuchlich sind, hat gelegentlich die Fantasie mancher Forscher beflügelt (10). G. Helm, ein berühmter Chemiker in seiner Zeit (1887) war offenbar der erste, der vor diesem Hintergrund geltend machte, daß Geld die ökonomische niedrige Entropie sei. L. Winiarski (1900) führte die Analogie soweit zu behaupten, "Gold ist...die Inkarnation sozio-biologischer Energie." Etwa zur gleichen Zeit benutzte E. Solvay (1902), der vermögende Schirmherr der berühmten Kongresse erlauchter Physiker, ein Rechenschema ähnlich der Arbeitswerttheorie von Karl Marx, um die Äquivalenz zwischen ökonomischem Wert und verkörperter Energie zu schlußfolgern. Ausgelöst durch H.T. Davis (1941), einen Pio-

nier der Ökonometrie, wurde in der Mitte dieses Jahrhunderts die Idee einer Analogie von Thermodynamik und Ökonomie für kurze Zeit wieder populär. Für ihn war die Nützlichkeit (utility) des Geldes gleich der ökonomischen Entropie. (11). Mit der darauf folgenden Kritik von J.H.C. Lisman, daß die Analogie Thermodynamik-Ökonomie - so bemerkenswert der Gedanke auch sein mag - falsch ist, blieb der Fall abgeschlossen, bis unlängst M. Lichnerowicz (1971) mit dem Vorschlag, den ökonomischen Prozess Punkt für Punkt durch ein großangelegtes System thermodynamischer Gleichungen darzustellen, allem die Krone aufsetzte - eine rein formale Übung bar jedes spezifisch ökonomischen Gehaltes.

Der interessanteste Fall schließlich ist der von Sergej Podolinsky, einem marxistisch überzeugten Biologen. Sein Essay "Menschliche Arbeit und Einheit der Kraft," Die Neue Zeit (1883), war der wertvolle Fund von J. Martinez-Alier und J.M. Naredo (1982), die außerdem eine beachtenswerte Analyse dazu vorlegten. Als Biologe begründete er seine Argumentation von der Beziehung zwischen Nahrungsenergie und menschlicher Arbeit in einer Weise, die an einige Beiträge über den Energiefluß in der Landwirtschaft erinnert. Sein Ziel bestand darin, für Marx' Werttheorie Arbeit durch Energie zu ersetzen (siehe Martinez und Naredo, S. 213). Engels, der sich auf eine frühere in La Plebe (1881) (12) veröffentlichte italienische Fassung bezog, schrieb an Marx, daß er "alle ökonomischen Schlußfolgerungen (Podolinsky`s) für falsch" halte. (13). Aber Gedanken wie die von Podolinsky müssen noch früher im Umlauf gewesen sein, denn Engels (1954, S. 408) hatte schon 1875 in einer Anmerkung protestiert: "Laß jemand den Versuch machen, jeden Facharbeiter in Kilogramm-Meter umzuwandeln und dann auf dieser Grundlage Löhne zu bestimmen!". Eine Überlegung, die eigentlich jeden Versuch, Ökonomie durch irgendeine Energielehre zu ersetzen, im Ansatz zunichte machen sollte.

In unseren Tagen protestierte auch F.v. Hayek wieder gegen "die verschiedenen Formen sozialer 'Energetik'(wie vorgeschlagen von) Ernest Solvay, Wilhelm Ostwald und Frederick Soddy". Wie schon vorher angemerkt, verdient Solvay im Gegensatz zu den beiden anderen Nobelpreis-gekrönten Chemikern die Anklage. Sowohl Ostwald als auch Soddy betonten lediglich die vitale Rolle der Energie speziell für das menschliche Leben. Wenngleich Ostwald auch der führende Vertreter der Schule war, die alles in der Physik auf Energie reduzierte, so machte er doch darauf aufmerksam, daß "wir falsch lägen, den Wert nur in Größen der in ihm enthaltenen Menge an freier Energie zu bestimmen". Aber Proteste wie die von Engels, Ostwald und von Hajek hatten keinen Einfluß auf diejenigen, die nach einer oberflächlichen literarischen Veranstaltung suchten.

Es liegt mir fern, mich mit der von Fred Cottrell (1953) entwickelten und durch H.T. Odum (1973) vertieften These anzulegen, daß nur die Nettoenergie - also die Differenz zwischen der erzielten Energie und dem Anteil, der für ihre Gleichung nötig war - für uns zählt. Modelle zur Berechnung der für die Herstellung (bei gegebener Technologie) einer bestimmten Wareneinheit nötigen Netto- bzw. Gesamtenergie können als grobe Richt-

linie für die Politik hilfreich sein (sofern sie sachgemäß dargelegt sind). Man sollte dabei jedoch nicht übersehen, daß sie für Kostenabschätzungen kaum geeignet sind (NGR, 1979). Mit dem Ölembargo 1973/74 wurde Energieanalysen ein größeres Interesse entgegengebracht mit der Folge, daß man Veranlassung sah, die Gleichung "ökonomischer Wert = Nettoenergie" erneut in die Diskussion zu bringen. Martha Gilliland (1975) griff die Idee der energetischen Ökonomie gleich begeistert auf, um die Ökonomen von der Akrobatik zu befreien, Äpfel und Birnen zusammenzuzählen. Wie schön wäre es doch, wenn man alles in Kilowatt-Stunden messen könnte.
Der diesbezügliche Einwand von David Huettner (1976) repräsentiert ein bezeichnendes Dokument zum konfusen Stand der Debatte. Zwar führt Huettner einerseits die Gründe an, warum eine energetische Ökonomie den ökonomischen Prozess nicht adäquat darstellen kann, liefert aber dann einen mathematischen Beweis für die Entsprechung von optimalen Preisen und korrespondierendem "Energiegehalt".

Obwohl Huettners Beweis scheinbar Butter auf das Brot der energetischen Ökonomie strich, war diese Mitgift in Wirklichkeit doch nur Gift. Der Beweis kommt auf der Grundlage einer unverwüstlichen Täuschung seitens der modernen Ökonomie zustande. Die Täuschung - sie hat ihre Wurzeln in der von Philip Wicksteed entwickelten üblichen Produktionsfunktion

(1) $q = f(x, y, z, \ldots)$

- läßt den Unterschied zwischen Strom- ("flows") und Bestands- ("funds") Größen völlig außer acht (NGR, 1970; 1971). Grundsätzlich stellen alle Elemente dieser Gleichung Stromgrößen dar. Aber jeder Bäcker in einem kleinen Dorf weiß, daß er nicht nur für die "flows" Mehl, Salz, Benzin usw. bezahlen muß, sondern ebenfalls für die Dienste der Agentien ("funds") - Arbeitskraft, Anlagen und Räumlichkeiten. Weil Preise nicht allein Funktionen der "flows" sind, entlarvt Huettners Beweis, der allein auf einer flow-Produktionsfunktion basiert, in Wirklichkeit die Fehlerhaftigkeit der energetischen Häresie.

Aber gerade diese Häresie entfaltet scheinbar eine anhaltende Anziehungskraft, indem sie die dem ökonomischen Prozess anhaftenden verschlungenen Probleme beiseite schiebt. Nachdem ich den Fehler in Huettners mathematischer Demonstration (14) aufgedeckt hatte, machte sich ein Jahr später R. Costanza (1980) daran, zu beweisen, daß die Gleichung "verkörperte Energie = ökonomischer Wert" richtig sei und reale ökonomische Daten dies verifizierten. Wie Huettner reduzierte sein Schema alles auf "flows", allerdings in der vielfachen Dimension eines linearen

inout-output-Systems

(2) $e_j x_j - \sum_i e_i x_{ij} = E_j$.

Die Notationen x_j und x_{ij} haben die gebräuchlichen Bedeutungen - output von Sektor j und output von Sektor i in Sektor j; e_j ist die verkörperte Energie in einer Einheit von x_j;und E_j ist der input von Primärenergie (d.h. der Energie aus der Umgebung) in den j- Sektor. Es gilt besonders zu beachten, daß ausnahmslos alle Größen, x_j , x_{ij} und E_j , in Geldeinheiten angegeben werden; daraus folgt: e_j ,ist die einem Dollar äquivalente Energie und muß gemäß dem energetischen Dogma die Einheit für alle j sein.

Wenn also alle effektiven Einnahmen und Aufwendungen in (2) enthalten sind, so ist es logisch, daß

(3) $E_j = x_j - \sum_i x_{ij}$

und es braucht nichts weiter um zu beweisen, daß $e_j = 1$ für alle j sein muß. Costanza zog jedoch aktuelle Daten heran, um zu beweisen, daß "die stärkere Berücksichtigung der indirekten Energiekosten das Verhältnis von verkörperter Energie zu Dollar in der Weise beeinflußt, daß es sich von Sektor zu Sektor zunehmend einem konstanten Wert annähert" (S. 1222). (15) Wenn aber die Kosten noch andere Elemente als nur x_{ij} enthalten (Kosten für Dienste: Löhne, Zins, Miete) - nennen wir es im Ganzen c_j - ergibt die neue monetäre Standardgleichung von Kosten und Einnahmen

(3a) $E_j = x_j = \sum_i x_{ij} - c_j$.

Und wenn $e_j = 1$ für alle j, wie Costanza auf der Basis von (1) behauptet, bewiesen zu haben, dann folgt aus (1) und (3), daß $c_j = 0$ für alle j ist, was eine sonderbare ökonomische Bedingung ist. (16) Unzweifelhaft ist Costanzas Analyse im Grunde ein algebraischer Schwindel, der durch unklare Statistiken noch verstärkt wird; vielleicht der größte Schwindel in der mathematischen Ökonomie. (17)

Ökonomische Anschauungslektionen in Thermodynamik

Viele Autoren, die sich mit Engagement für "Ressourcen für die Zukunft" einsetzen, vertreten die Meinung, daß die Thermodynamik einem Ökonomen nichts lehren kann. Ihre Forderung spiegelt die in der modernen Ökonomie grundsätzlich übliche Haltung wieder, die Verknappung der Rohstoffe völlig zu ignorieren. Die herrschende Auffassung geht davon aus, daß es nur eine künstliche Knappheit gibt, weil alles erreichbar ist, wenn man nur bereit ist, das nötige Kapital in Arbeit und Ausrüstung zu investieren. Die viel energischere These, daß technologische Erneuerungen jederzeit Knappheit jeder Art beseitigen können (H. Barnett und C. Morse, 1963), ist für praktisch alle Ökonomen der erste Artikel des ökonomischen Glaubensbekenntnisses geworden (und wie wir erkennen müssen, ist es noch heute so).

Diese Überzeugungen waren nur ein Ausfluß aus der vorrangigen inneren Überzeugung der ökonomischen Profession, daß "ökonomisches Wachstum das oberste Ziel ist. Das ist es, worauf Wirtschaftspolitik insgesamt abzielt", wie Sir Roy Harrod (1965, S. 77) stolz bekanntgab. Und wirklich, das Wohl eines jeden einzelnen ständig zu steigern, steht an Großartigkeit nur noch dem Versprechen auf Unsterblichkeit nach. Wie grundlos dieses Versprechen jedoch war, beweist die Tatsache, daß jene auf ökonomische Wachstumsmodelle bezogenen Themen, die einstmals ihren Autoren den Ruf wissenschaftlicher Brillanz einbrachten, heutzutage nicht einmal mehr Möchte-Gern-Schriftsteller verführen können.

Man hätte zumindest nach dem Ölembargo von 1973/74 erwarten können, daß meine seit 1965 bis 1971 wiederholten Mahnungen in der ökonomischen Profession eigentlich eine Gewissensprüfung hätten auslösen müssen. Es bedurfte aber erst des großen Bekanntheitsgrades des hervorragenden Buches "Die Grenzen des Wachstums" (1972), um einige Größen der Nationalökonomie zu veranlassen, zur Verteidigung der einäugigen Disziplin aufzutreten. Der erste, der in den Ring stieg, war der bekannte Theoretiker und Altmeister des Wachstums, Robert M. Solow (1973, 1974). (18) (Anmerkung d. Verf.: Es müßte Roegen dabei besonders berührt haben, daß ausgerechnet dieser Vater der neoklassischen Wachstumstheorie im Jahre 1987 den Nobelpreis für Wirtschaftswissenschaften zugesprochen bekam).

Abgesehen von der Rhetorik in seiner ersten Ausführung, bieten seine beiden Arbeitspapiere die passende Grundlage, um aufzuzeigen, was dabei herauskommt, wenn der ökonomische Prozess nicht als thermodynamische Transformation, sondern als mechanisches System erklärt wird. In einem mechanischen System gibt es nur räumliche Veränderungen; dies ist jedoch für das ökonomische Leben nicht das Entscheidende.

Beide Abhandlungen enthalten eine Menge konventioneller Erklärungen darüber, wie der Markt auf Veränderungen der natürlichen Rohstoffvorkommen reagieren könnte. Diese Erklärungen zielten nur darauf ab zu beweisen, daß schon der Markt am besten Bescheid weiß, so daß es keine Veranlassung gäbe, sich um die unabänderliche entropische Degradation Sorgen zu machen. Und als ob er sich über seinen unfundierten Standpunkt voll im Klaren wäre, räumt Solow an verschiedenen Stellen dennoch ein, daß der Markt irrt, und dies insbesondere in Bezug auf die natürlichen Ressourcen. Darüberhinaus glaubt er, die Mängel des Marktes könnten grundsätzlich nur durch sozio-politische Interventionen von außen behoben werden; ein Gedanke, der ihn in die Nähe von Öko-Freaks bringt. Aber wahrscheinlich würde ein Öko-Freak dem Vorschlag Solows zur Korrektur der Indifferenz des Marktes gegenüber der Umweltverschmutzung heftig widersprechen. Solow lehnt die Idee quantitativer Beschränkungen für Abwasser-Einleitungen ab; stattdessen will er den Verschmutzer für den verursachten Schaden zahlen lassen. Aber das "der Verschmutzer zahlt"-Prinzip würde zum Beispiel bedeuten, daß wir den für Autos obligatorischen Katalysator abschaffen und stattdessen je-

den Autobesitzer für die durch die Autoabgase verursachte Verschmutzung zur Kasse bitten. Dieses Prinzip ist mit Sicherheit schlechte Ökonomie und ebenso schlechte Thermodynamik. Es ist schlechte Ökonomie, weil so die Reichen nach Belieben die Umwelt verschmutzen könnten. (Es sei denn, die Auswirkungen von Einkommensunterschieden wären nicht Sache der Ökonomie). Es ist außerdem schlechte Marktwirtschaft, denn für Umweltverschmutzung gibt es keinen Markt. Und es ist schlechte Thermodynamik, weil man Umweltverschmutzung grundsätzlich nicht rückverwandeln kann: Beide, Energie und Materie können nie gänzlich wiedergewonnen (upgraded) werden. Ein hervorstechendes Beispiel: Es gibt absolut keine Möglichkeit einen Planeten zu kühlen, der sich aufheizt. Also können wir nicht wissen was es kostet, unwiderrufliche Verschmutzung der Umwelt rückgängig zu machen, etwa um sie dann dem Verschmutzer als Betrag in Rechnung zu stellen. (19)

Solow bestreitet jedoch nicht völlig die Wirksamkeit des Entropie-Gesetzes. Zum Schluß sagt er sogar, daß man hinsichtlich des ökonomischen Prozesses "sowohl die Ökonomie als auch das Entropiegesetz heranziehen muß". (Solow, 1974, S. 11) Gleichwohl geht er bei seinen Schlußfolgerungen nicht immer von diesem Gebot aus. Er predigt das vertraute Argument, daß die Erschöpfung der Rohstoffe durch "andere Faktoren der Produktion, insbesondere durch Arbeit und reproduzierbares Kapital, substituiert werden kann". (Solow, 1974, S. 10). Dies ist natürlich schlechte Thermodynamik, denn Kapital ist nicht reproduzierbar ohne zusätzliche Zufuhr an Rohstoffen. (20) Bei dieser Sichtweise von Solow gleicht die letztendliche Zukunft der ökonomischen Welt dem Paradies. Über diese Aussage kann man nicht einfach hinweggehen. Solow (1974, S. 11) scheut sich nicht zu behaupten, daß "die Welt tatsächlich ohne Rohstoffe auskommen kann und deren völliger Abbau somit lediglich ein Ereignis, jedoch keine Katastrophe ist".

Am Meisten jedoch verwundert, daß Solow trotz der zwar nicht geleugneten, jedoch beschönigend dargestellten ökonomischen und thermodynamischen Hindernisse weiterhin die Ansicht aufrechterhält, daß das Wirtschaftswachstum bis zum Jüngsten Tag (Solow, 1973, S. 45) exponentiell fortschreiten kann, wie es in allen Abhandlungen über Wachstum durch die Standardformel $e^{\delta t}$ zum Ausdruck gebracht wird. Diese Formel muß mit allem Nachdruck bekräftigt werden, da sie uns zwei unerfreuliche und unangenehme Schlußfolgerungen erspart: Einmal ist dies das Schicksal der Armen. Wenn man den Glauben hegt, daß das ökonomische Wachstum durchführbar und wünschenswert ist, so ist dies ein charakteristischer Blickwinkel entwickelter (folglich auch ökonomisch und militärisch mächtiger) Nationen, der davon ausgeht, daß das Los der Armen nur verbessert werden kann, wenn jeder einzelne Reiche noch reicher wird (Solow, 1973, S. 41). (21) Zweitens, analog dazu, ist es das Schicksal der Nachwelt.

Natürlich kann man sich auf den Standpunkt stellen, daß die Frage der Ungleichheit unter Zeitgenossen die Wirtschaftswis-

senschaft nichts angeht. Aber würde die ökonomische Profession so weit gehen, unverhohlen diese Position zu übernehmen und damit das donnernde Getöse von Thomas Carlyle und John Ruskin in vollem Maße rechtfertigen? Wenn wir aber nicht bestreiten, daß die Ungleichheit zweier Gesellschaften unserer Zeit - sagen wir der USA und Äthiopiens - unser ureigenstes Geschäft darstellt, warum sollen wir dann nicht auch die Ungleichheit zwischen nicht zeitgenössischen Gesellschaften in Betracht ziehen? Wenn wir heutzutage John Trumbells sarkastisch-zweifelnde Frage "Was hat die Nachwelt für mich getan?" immer wieder erneut zitieren, so kommen wir dabei nicht umhin, uns auch zu fragen, warum dies nur für die menschliche Spezies gilt. Alle anderen Spezies bezeugen durch ihr unveränderliches Verhalten ein starkes Interesse für den Fortbestand ihrer Nachwelt. Wie viele andere Verfechter der "Standard-Ökonomie" greift Solow (1974) zurück auf eine alte Schrift von Harold Hotelling (1931), um uns davon zu überzeugen, daß die neoklassischen Ökonomen die Frage der inter-generativen Allokation nicht übersehen haben. Er übersieht aber die wichtige Tatsache, daß Hotellings Analyse sich auf einen bestimmten Umfang von Ressourcen im Besitz eines Individuums bezieht, welches zukünftige Gewinne diskontiert. Natürlich hatte Hotelling mit dem letzten Punkt völlig recht. Jedes Individuum muß die Zukunft diskontieren wegen der unumstößlichen Tatsache, daß sein Leben vergänglich ist und er täglich sterben könnte. Aber eine Nation, geschweige denn die ganze Menschheit kann sich nicht nach der Vorstellung verhalten, morgen vielleicht zu sterben. Sie verhält sich so als wäre sie unsterblich, und bewerte zukünftige Wohlfahrtszustände dementsprechend auch ohne Diskontierungen. Wenn natürlich der Diskontsatz gleich Null ist, bricht diese wunderbare mathematische Konstruktion Hotellings zusammen. Aber das bedeutet nicht, daß ein Programm, das dafür Sorge trägt, daß alle Generationen auf derselben Grundlage behandelt werden, sinnlos ist (NGR, 1982b).

Daß moderne Ökonomen diesem Programm keinerlei Beachtung schenken, ist verständlich, denn es richtet sich gegen Wachstum. (22) Kaum zu verstehen aber ist, warum sie Hotellings Modell preisen, welches doch mit einem Schema der zunehmenden Erschöpfung endet. Befaßt man sich genau mit den Gedanken, die mit dieser Frage verbunden sind, so enthüllt sich ein vielfacher Trugschluß, der sich uneingeschränkt verbreitet hat: Die Rate zur Diskontierung der Zukunft muß positiv sein, um den positiven Zinssatz zu erklären. Aber auch abgesehen von Hotellings Theorem wollen wir nicht nur den Zustand des Wachstums aufrechterhalten: wir müssen, weil wir können. Ist es nicht so, daß es in der Vergangenheit fast jeder Generation besser ging als der vorhergehenden und stimmt es nicht, daß jede Generation mehr natürliche Resourcen verbraucht hat als sie benötigte und dadurch ihr Erbe vermehrt hat? Natürlich ist das alles nicht logisch, wenn wir gleichzeitig bekräftigen, daß das Entropiegesetz an der Grenze zum Ökonomischen nicht haltmacht. (23) Auch die Tatsache, daß das ökonomische Wohlergehen in den meisten Teilen der Welt stetig wächst, beweist nicht, daß es hier endet. Zumindest während der letzten beiden Jahrhunderte hat sich die Menschheit eines phantastischen Reichtums an Mineralien er-

freut, was die Quelle für ein ebenso phantastisches ökonomisches Wachstum war. Insbesondere nach dem Zweiten Weltkrieg war dieses Wachstum nicht nur fantastisch, sondern auch auf anmaßende und ungeeignete Weise fehlgeleitet. Die weitverbreitete Illusion von unaufhörlichem Nachschub an billigem Rohöl (gemessen in BTUs/British thermal unit) unterdrückte jede Bemühung um einen sparsamen Umgang mit Energie. Der Stolz der Automobilindustrie - dem eindeutigsten Delinquenten - fabrizierte riesige Benzinfresser, für Leute, die mit anderen Dingen schon überversorgt waren. Das Interesse an einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Kohle erreichte einen äußersten Tiefpunkt mit dem Ergebnis, daß die Berge von Appalachia von erschütternder Armut heimgesucht wurden (Miernyk, 1976; 1982).

Das erfolgreiche Mittel für dieses ökonomische Wachstum war sicherlich die Technologie, aber ohne diesen Reichtum an Mineralien wäre sie nicht ins Spiel gekommen. Der Glaube daran, daß Technik (und Wissenschaft, ihre Schwester) die Grenzen jedes bekannten Gesetzes sprengen oder diese gar wiederlegen möge, wurde besonders nach dem unglaublichen technologischen Fortschritt der letzten Jahrzehnte zu einer allgemeinen Obsession. Ein krasses Beispiel: Ich stellte die Wirkung des Entropiegesetzes innerhalb eines isolierten Systems anhand eines Stundenglases dar, wobei der Stoff in der oberen Hälfte für niedrige Entropie steht; beim Hinabrinnen verwandelt sie sich in hohe Entropie (Abfall). Um die Unwiderruflichkeit des Prozesses auszudrücken, führte ich an, daß das "thermodynamische Stundenglas", im Gegensatz zur üblichen Sanduhr, nicht umgedreht werden kann. Als Paul A. Samuelson schließlich in der letzten von ihm allein verfaßten Auflage seines gefeierten Lehrbuches "Economics" (1980, S. 747) auf Entropie zu sprechen kam, behauptete er, daß "die Wissenschaft vorübergehend das (Stunden)glas umdrehen kann". Ausgehend von unserem Wissen vermögen wir weder ein Urteil darüber abzugeben, was die Wissenschaft auf lange Sicht leisten könnte, noch, was sie nicht in der Lage ist zu leisten. Bezüglich dieser Entwicklung können wir uns nur auf die begründeten Spekulationen der Ranghöchsten eines jeden Forschungsgebietes verlassen. So gab zum Beispiel Sir Arthur Eddington den Rat: "falls sich herausstellt, daß Ihre Theorie gegen das 2. Gesetz der Thermodynamik verstößt... ist sie dazu verurteilt, zutiefst gedemütigt zusammenzubrechen". Auch Albert Einstein meinte: Thermodynamik "ist die einzige universelle physikalische Theorie, (welche) nie umgestürzt werden wird". Das bedeutet: Hitze wird sich nie von selbst vom kalten Kondensator in den heißeren Dampfkessel bewegen. Wenn eine Kühlanlage Wärme an heißere Stellen abgibt, dann nur deshalb, weil anderswo weit mehr Wärme von einem Dampfkessel in einen Kondensator strömt.

In Übereinstimmung mit der eben geäußerten Ansicht insistiere ich darauf, daß jedes vernünftige Programm, das wir heute anbieten können, nicht auf irgendeinem futuristischen Wunschdenken basieren, sondern nur unser gegenwärtiges Wissen als Grundlage haben darf. Futuristen mögen, in ihrer Eigenschaft als Futuristen, von der möglichen Entdeckung des "Cavorite" reden,

dem Material, welches in der Imagination von H.G. Wells die Gravitation aufzuheben vermochte; aber bis es tatsächlich so weit ist, sollten wir Leute nicht dazu anregen, vielstöckige Häuser zu bauen, in denen sich weder Treppen noch Fahrstühle befinden. Die gegenwärtige Aufregung um alternative Technologien - alternativ zu den zur Zeit vorherrschenden - kennt keine skeptische Zurückhaltung und keine schriftstellerischen Grenzen. Der Frevel bei der ausschließlichen Beschäftigung mit diesem Thema ist immer wieder der, die (grundlegenden) thermodynamischen (Natur)gesetze nicht zur Kenntnis zu nehmen. Man hat größte Anstrengungen darauf verwandt, längst bekannte Verfahren immer wieder neu aufzubereiten mit der Absicht, uns davon zu überzeugen, daß sie für die drohende Öl- und Gaskrise eine Antwort bereithalten.

Die Geschichte der menschlichen Technologie besteht aus so vielen Verfahren, daß es eine Lebensaufgabe wäre, sie alle aufzuzählen. Ich beziehe mich auf durchführbare Verfahren wie Brot backen, Bäume fällen, die Impfung gegen Pocken, das Befördern eines Menschen auf den Mond oder nicht zuletzt das Beheizen von Häusern und das Antreiben von Flugzeugen nur mit Hilfe von direkter Sonnenenergie. Es gibt natürlich Verfahren, die zur Zeit nicht durchführbar sind: Eine Impfung gegen Krebs, die Kontrolle über eine thermonukleare Explosion, oder die Erdachse wieder in ihr Lot zu bringen. Es ist angemessen, "Technologie" so als ein ensemble (eine Matrix) von durchführbaren Rezepten zu definieren, daß jede nicht-primäre Eingabe eines Rezeptes das Produkt irgend eines anderen Rezeptes ist. Ich zeige nun das folgende scheinbare Paradox auf: Auch wenn eine Technologie nur aus durchführbaren Rezepten besteht, ist sie nicht zwangsläufig l e b e n s f ä h i g . Zur Erklärung: Eine lebensfähige Technologie muß dieselben Qualitäten aufweisen, wie sie für einen lebenden Organismus charakteristisch sind, der neben der Ausführung ganz bestimmter Handlungen zu jeder Zeit auch sein materielles Gerüst (seinen Körper) intakt hält. Das beste ökonomische Beispiel ist das Modell der einfachen Reproduktion von Karl Marx, der stationäre Zustand einer Ökonomie der letzten Tage. (24)

Da es kein Rezept für die Herstellung von Energie oder Materie gibt, braucht selbstverständlich jede lebensfähige Technologie einen beständigen Nachschub an niedriger Entropie aus der Umgebung. Zu diesem Zweck muß die Technologie ein Verfahren mit einschließen (oder eine Gruppe von Verfahren), welche Energie und Materie aus der Umgebung umwandelt in Energie und Materie, die uns für andere Aktivitäten zur Verfügung stehen. Solch ein Verfahren muß eine sehr strenge Bedingung erfüllen, und aus einem Grund, der gleich klar werden wird, schlage ich vor, diese Bedingung prometheisch zu nennen. (NGR, 1978)

Das stolze Resultat der intellektuellen Erforschung von Materie und Energie durch die Menschheit ist eine große Anzahl durchführbarer Verfahren, aber seltsamerweise stellen davon bis heute nur zwei Erfindungen einen entscheidenden technologischen Fortschritt dar. Und es mag ebenso verwundern, daß die erste

entscheidende Erfindung ein sehr alltägliches Phänomen war: Die Beherrschung des Feuers, welche die alten Griechen nicht auf einen Sterblichen, sondern auf Prometheus, einen göttlichen Titanen, zurückführten.

Was macht das Feuer zu einer so außergewöhnlichen Erfindung in der technologischen Evolution der Menschheit? Erstens: Feuer schafft eine qualitative Umwandlung von Energie, die Umwandlung von (kalten) brennbaren Stoffen in Wärmeenergie. Zweitens erzeugt Feuer eine Kettenreaktion: Mit nur einem Streichholz könnten wir einen ganzen Wald (ja sogar alle Wälder) zum Brennen bringen. Feuer versetzte die Menschen nicht nur in die Lage, sich warm zu halten und ihre Nahrung zu kochen, sondern ermöglichte vor allem das Schmelzen und Formen von Metallen sowie das Brennen von Ziegeln, Keramik und Kalk. (25)

Während der neuen technologischen Ära, die sich in ihrer Entwicklung in erster Linie auf den Brennstoff Holz stützte, ging es mit der Entstehung neuer Techniken immer schneller. Schließlich dezimierte die darauf folgende Entwicklung ihre eigene Grundlage ebenso rasch. Die Wälder begannen so schnell zu verschwinden, daß bereits im 17. Jahrhundert fast überall in Westeuropa Erhaltungsmaßnahmen eingeführt wurden. Dies war nichts anderes als die normale Folge jedes prometheischen Geschenks: Die eigene Antriebskraft wird mit zunehmender Geschwindigkeit abgebaut. Die Krise war völlig analog zu der heutigen.

Kohle war als alternative Wärmequelle in Europa seit dem 13. Jahrhundert bekannt. Sie brachte jedoch zwei Probleme mit sich: Erstens verbrannte sie nicht sauber und zweitens wurden die Kohlebergwerke regelmäßig von Grundwasser überflutet. In manchen Bergwerken gab es mehr Wasser als abbaubare Kohle. (26)

Es handelte sich um eine Krise der Brennstoffe (Holz und Braunkohle). Indes stellte sich das unmittelbare Problem, wie man über die seinerzeit verfügbaren Energien der Muskelkraft, Regenwasser und Wind hinaus noch mehr Energie erhalten könnte. Die Wissenschaftsgiganten Galileo Galilei und Christian Huygens fanden keine Lösung. Sie kam von Prometheus II - den beiden nichtakademischen Sterblichen Thomas Savery und Thomas Newcomen. Sie entdeckten eine weitere qualitative Umwandlung: Die Umsetzung von Wärme in Bewegung mittels der Wärmekraftmaschine. Dies war die zweite prometheische Erfindung, denn sie führte ebenfalls zu einer Kettenreaktion. Man kann mit wenig Kohle und einer Wärmekraftmaschine in einer kettenartigen Entwicklung weit mehr Kohle und andere Erze abbauen, um damit weitere Wärmekraftmaschinen herzustellen.

Dieses zweite prometheische Geschenk ermöglichte es der Menschheit, Motorkraft aus einer reichhaltigeren und ungemein mächtigeren Quelle zu erhalten: Feuer aus mineralischen Brennstoffen. Wir leben immer noch innerhalb der aus dieser Erfindung hervor-

gegangenen lebensfähigen Technologie. Aber, wie alle prometheischen Rezepte bewirkte die Wärmekraftmaschine eine schneller werdende technologische Entwicklung, welche die Erschöpfung ihrer eigenen Grundlage beschleunigte. Wir befinden und jetzt am Rande einer neuen technologischen Krise, einer Energiekrise, wie sie allgemein genannt wird.

Angesichts der Phantasterei, daß Wirtschaft nichts mit Thermodynamik zu tun hat, verdient ein Umstand ungeteilte Aufmerksamkeit. Aus allen vorangegangenen Argumenten wird klar, daß wir ohne die Thermodynamik (vervollständigt durch das vierte Gesetz) die wahre Natur der heraufziehenden Krise (oder jeder anderen prometheischen Krise überhaupt) nicht verstehen können. Denn eine prometheische Krise besteht ja nicht nur aus einer normalen Knappheit, wie zum Beispiel nach einer Mißernte. Auch werden für uns nur mit Hilfe der Thermodynamik die möglichen sich entwickelnden Auswege aus einer prometheischen Krise auf rationaler Basis deutlich. Immer wenn der spezifische "Treibstoff" einer lebensfähigen Technologie allmählich erschöpft ist - wie es jetzt bei der gegenwärtigen Technologie der Fall ist - hängt die exosomatische Zukunft der Menschheit in der Tat davon ab, ob rechtzeitig eine neue prometheische Erfindung gemacht wird. Nur ein gewöhnliches durchführbares Verfahren würde nicht genügen.

Das beste Beispiel der Ignoranz gegenüber diesem elementaren Prinzip der Thermodynamik ist die anfangs nur verbal geäußerte und in den letzten Jahren von Publikation zu Publikation sich ausbreitende Überzeugung: Wir haben die Solar-Technologie und wir können sie sofort anwenden. Wie ich früher angeführt habe, gibt es verschiedene durchführbare Techniken, um direkte Sonnenenergie zu nutzen, aber eine prometheische Technik existiert bis jetzt noch nicht. Die direkte Nutzung solarer Energie erfüllt die minimale streng notwendige Bedingung eines prometheischen Verfahrens nicht. Um diese Bedingung zu erfüllen, müßte eine gewisse Anzahl Sonnenkollektoren allein mit Hilfe der Energie, die sie einfangen, reproduziert werden können. Aber trotz des lauten Getöses über die Lösung der Energiekrise durch die "billige und erneuerbare" Solarenergie stellte sich keines der ausprobierten Verfahren als prometheisch heraus. (27) Das größte Hindernis hierbei ist die extrem schwache Strahlung der Sonnenenergie beim Erreichen der Erdoberfläche. (28) Daraus folgt, daß wir unverhältnismäßig viel Materie brauchen, um einen nennenswerten Betrag an Sonnenenergie nutzbar zu machen. Deutlich wird das illustriert durch die Solar-Wärmeanlage, deren Heizkessel auf einem 76 Meter hohen Turm angebracht ist und die reflektierten Strahlen von 1818 Heliostaten aufnimmt, von denen jeder 40 qm mißt und die mittels eines komplizierten Mechanismus ständig dem Lauf der Sonne folgen. (Mark A. Fischetti, 1983)

Zweifellos kann die Wirkung des vierten Gesetzes nicht durch die zum Verbrauch bereitgestellte Energie kompensiert werden, egal ob wir von einem Solar-Brüter, einem Wärmekraftwerk oder

auch von einer Heim-Solaranlage ausgehen. Es trifft zwar zu, daß sich innerhalb einer Photozelle nichts bewegt und so praktisch Reibung keine Rolle spielt; es gibt jedoch strukturelle Veränderungen infolge von verschiedenartigen unvermeidlichen Strahlungen. Es ist eine Tatsache - obwohl das bei dem gegenwärtigen leichtblütigen Überschwang bezüglich der Sonnenenergie überraschen mag - , daß Sonnenenergiesysteme mit größerer Wahrscheinlichkeit versagen als die Energiesysteme traditioneller Art. (P.S. Chopra, 1980) Diese nachteilige Eigenschaft stoppte vor hundert Jahren in Kalifornien die Begeisterung für die dort beliebten sonnenenergiebetriebenen Warmwasserbereiter. (Butti und Perlin, 1977)

Zweifellos gibt es Umstände, in denen die Sonnenenergie von besonderem Vorteil ist, z.B. wenn andere Formen von Energie technisch nicht installiert werden können (in Raumschiffen) oder sich als außerordentlich kostspielig erweisen (in weit abgelegenen Beobachtungsstationen). Wenn heutzutage eine wachsende Anzahl von Leuten anstelle anderer Energiequellen ein solares Energiesystem für ihr Heim einbezieht, so liegt das, wie ich meine, nur an den finanziellen Vorteilen, die sich aus der Inflation und zukünftig zu erwartenden hohen Preisen für herkömmliche Brennstoffe ergeben. Tatsächlich aber steht Sonnenenergie beim heutigen Stand der Dinge noch immer in einem parasitären Verhältnis zu den primären Energieträgern - , genau wie das bei der Elektrizität der Fall ist und auch immer sein wird. (NGR, 1978)

Leuchtet man den gegenwärtigen Horizont technischer Möglichkeiten einmal ab, so erscheint die Kernenergie als mögliche technische Stütze zur Fortsetzung des ungewöhnlichen exosomatischen Wohlergehens, wie es in einem Teil der Welt zur Zeit vorherrscht. Aber wir sollten nicht darüber hinwegsehen, daß es sich beim üblichen Kernreaktor noch nicht um ein prometheisches Rezept handelt; er ersetzt nur die fossilen Brennstoffe als Ausgangsstoff zur Erzeugung von Wärme. Der schnelle Brüter indes ist eine prometheische Technik: In ihm findet eine qualitative Umwandlung von brütbarem in spaltbares nukleares Material statt und, ebenso wie die Wärmekraftmaschine, produziert er mehr Brennstoff als er verbraucht. Aber unabhängig von einem bestimmten Reaktortyp wirft jeder Gebrauch nuklearer Energie bezüglich der Sicherheit allen Lebens auf diesem Planeten Fragen auf, die noch nicht einmal im Ansatz bewältigt werden. (30)

Natürlich kann sich diese Situation jederzeit ändern. Aber wenn man von der Komplexität der im Zusammenhang mit dem nuklearen Brüter bestehenden Probleme ausgeht, so bestünde die einzig angemessene Strategie (von "vernünftiger" Strategie zu reden, wäre intellektuelle Anmaßung) darin, mit den fossilen Brennstoffen so haushälterisch wie nur irgend möglich umzugehen. Auf diese Weise würden wir mehr Zeit gewinnen, um ein sichereres

prometheisches Verfahren zu (er)finden. Bei dieser Alternative könnte ein gleitender Übergang von der gegenwärtigen heißen zu einer kalten Technologie stattfinden, ohne all die verheerenden Auswirkungen, die jeder schnelle Wandel mit sich bringt. Mein bio-ökonomisches Minimalprogramm von 1976 sollte eine Antwort sein auf jüngst entstandene Rufe nach einem neuen Paradigma (Nugent, 1979; Forscher, 1984). Es schlägt nicht die Erlösung durch eine umfassende Umstrukturierung der jetzigen bürokratischen Institutionen in der Welt vor; eine Lösung, die gerade en vogue ist (aufschlußreich zu ersehen aus Jan Tinbergen, 1985), von der ich mir jedoch nichts verspreche und die nur geeignet ist, unsere Aufmerksamkeit vom wahren Problem abzulenken. Mein Programm fordert stattdessen ein neues Gebot der Humanität, das, neben anderen Geboten, dazu führt, nicht nur Kriege, sondern auch jede Art von Waffenproduktion zu ächten, um die damit freiwerdende Energie und Materie zugunsten eines humanen Lebensstandards der unterentwickelten Nationen einzusetzen. Die Menschen in den Überflußgesellschaften müßten nur auf ihre Begierde nach oberflächlichen technischen Spielereien verzichten, wie beispielsweise auf Autos, die von 0 auf 100 beschleunigen, noch bevor der Zigarettenanzünder glüht. (NGR, 1976).

Mein Vorschlag bringt zugleich das schicksalsschwerste Problem der Menschheit zum Vorschein. Die schwierige Aufgabe, mit der Energie zu haushalten (oder sie zu erhalten, wie man das gewöhnlich nennt), kann weder von einer noch von einigen wenigen Nationen bewältigt werden. Sie erfordert die Kooperation aller Nationen. Dieses Faktum läßt eine weit schrecklichere Krise erkennen, als es die Energiekrise ist: Die Krise der Klugheit des Homo sapiens sapiens.

Anmerkungen

Sofern es sich um meine eigenen Werke handelt, benutze ich im folgenden der Einfachheit halber NGR.

(1)
Allerdings enthielt die Ausgabe von 1971 zusätzliche Gedanken, von denen ich an erster Stelle eine erkenntnistheoretische Kritik der probabilistischen Interpretation thermodynamischer Phänomene nennen möchte. Diese Kritik unterstützte die von Percy Bridgman entwickelte Idee, die er "Schmuggelentropie" nannte (NGR, 1966, S. 94-96; 1971, S. 7 und besonders 1976, S. 15). Desweiteren gibt diese Ausgabe eine neue analytische Darstellung des Produktionsprozesses beruhend auf der grundlegenden Unterscheidung zwischen "flows" (die Elemente, die Veränderungen erfahren) und "funds" (die Elemente, welche die Veränderung vollziehen und gleichzeitig vom Prozess selbst (aufrecht)erhalten werden). Siehe NGR, 1971, Kap. IX; 1976, Kap. 2,4,5.

(2)
Man muß anmerken, daß die Erde eigentlich ein geschlossenes System ist (NGR, 1977, S. 268). Alle biologischen Organismen sind ebenso wie der ökonomische Prozess (als Ganzes oder in seinen Teilen) offene Systeme.

(3)
Als jüngstes Beispiel siehe Stehle (1983). Aber der Größte, der die Nichtigkeit des Entropiegesetzes für biologische und ökonomische Systeme vertritt, ist merkwürdigerweise Edward Goldsmith (1981), der Herausgeber von "The Ecologist". Ich sage "merkwürdigerweise", denn vor Jahren druckte er zwei meiner Artikel über die entropische Natur des ökonomischen Prozesses als Titelgeschichte ab. Aber seine spätere Ablehnung mag es vermutlich auf den Beifall abgesehen haben, den man für ein höchst optimistisches Bild von der Zukunft bekommt.

(4)
Weil sich die Anhänger dieser Schule dessen nicht völlig bewußt zu sein scheinen, wies ich in einem Beitrag zu einem internationalen Symposium (NGR, 1982a) ausdrücklich darauf hin. Meine Absicht war, die wesentliche Differenz zwischen der Bedeutung von Materie in Prigogines Theorie und in meiner eigenen Auffassung von materieller entropischer Degradation klarzumachen. Obwohl meine Ansicht schon 1976 bekannt wurde, sind Einwendungen dagegen einzig in gelegentlichen mündlichen Verlautbarungen vorgebracht worden - ein Umstand, der mein Vertrauen in meine Theorie bekräftigte.

(5)
Das berühmteste Beispiel dafür ist der Nobelpreisträger Glenn T. Seaborg (1972). Aber wer außerhalb der Physik Rang und Namen hat, glaubt in der Regel an die Möglichkeit einer vollständigen Wiederaufbereitung, wie einst Kenneth Boulding (1966), indem argumentiert wird, daß Materie nicht Gegenstand entropischer Degradation ist. Daß Materie knapp werden könnte, ist D.B. Brooks und P.W. Andrews zufolge ein absurder Gedanke, da der ganze Planet aus Materie besteht. Der ganze Planet besteht aber ebenso auch aus Energie, so daß terrestrische Energie eigentlich auch nicht knapp werden dürfte.

(6)
Zur Erinnerung: Ein Perpetuum mobile der ersten Art ist ein System, welches ohne Energieabsorption arbeitet. Ein Perpetuum mobile der zweiten Art ist ein endliches System, das allein durch die kontinuierliche Nutzung von Wärme aus einer Quelle von gleichbleibender Temperatur Arbeit liefert.

(7)
Woran ich dabei denke, sind diejenigen Metalle, die sowohl gegenüber hoher Temperatur als auch gegen Korrosion wiederstandsfähig sind. Diese kommen aber nur in sehr geringen Mengen und in verkrusteter Form vor, wie zum Beispiel (in Bruchteilen pro Million): Vanadium (150), Tungsten (69), Columbium (veraltet für Niobium) (24), Cobalt (23) und Tantalum (2.1). Ablagerungen mit abbaubarem Gehalt sind natürlich um so seltener.

(8)
Zur thermodynamischen Kritik siehe NGR, 1976, S. 22-26; 1977. Die Tatsache, daß große Teile der Menschheit über lange historische Zeiträume in faktischen "steady-states" (stationärer Zustand) gelebt haben, ist kein Beweis dafür, daß sich das ewig fortsetzt. Dalys These wurde natürlich in den ökonomisch fortgeschrittenen Ländern mit viel Beifall bedacht, da sie als optimistisches Versprechen verstanden wird, den gegenwärtigen extravaganten Wohlstand für immer fortsetzen zu können.

(9)
Wenn wir die alte Streitfrage wieder aufgreifen, ob die Pacht ein Bestandteil der Kosten ist, so sollten wir sehen, daß man irdischem Raum offensichtlich keinen Entropiewert beimessen kann. Doch obwohl dieser Raum meiner notwendigen Bedingung nicht entspricht, gewinnt er seine große Nützlichkeit dadurch, daß er das für unser Leben notwendigste Element einfängt, nämlich Sonnenenergie, die eine extrem niedrige Entropie hat (NGR, 1971, S. 278).

(10)
Siehe NGR, 1971, S. 17 und 283.

(11)
Besondere Erwähnung verdient in dieser Hinsicht der Psychologe Andrew Pickler, der seine Ideen bereits 1932 und 1933 in verschiedenen kleineren ungarischen Zeitungen publizierte. In einer späteren Erklärung (1950) kam er, argumentierend, daß die "Geld-Moleküle" sich wie Gas-Moleküle im Zickzack bewegen, spezifischer als Davis zu dem Schluß, daß (1) die Gesamtgeldmenge dem Gesamtenergiebetrag, (2) der Grenznutzen des Geldes dem umgekehrten Wert der absoluten Temperatur und (3) der Gesamtnutzen der Entropie entspräche.

(12)
Offenbar war Engels eine im Juni 1880 in La Revue Socialiste publizierte noch frühere französische Version nicht bekannt. Da Podolinskys Essay in einer wichtigen Zeitung mit hoher Auflage veröffentlicht wurde, ist es um so schwerer zu verstehen, daß er fast hundert Jahre lang völlig vergessen war.

(13)
Engels' Brief an Marx vom 19. Dezember 1882. Marx, der kurze Zeit später starb, hatte keine Gelegenheit mehr, Podolinskys Artikel zu lesen.

(14)
Ausgeführt in NGR, 1979. Mit diesem Fehler beschäftigte ich mich jedoch schon 1978 in einer Gast-Vorlesung (NGR, 1980).

(15)
Costanza scheint an dieser Stelle vergessen zu haben, daß seine These $e_j = 1$ und nicht e_j = konst. lautete.

(16)
Zahlreiche Protestbriefe, meinen eingeschlossen, erreichten den Herausgeber der Zeitschrift "Science". Und obwohl Philip Abel-

son versprochen hatte, mindestens einen davon zu veröffentlichen, ist keiner publiziert worden. Möglicherweise glaubten die Naturwissenschaftler in der Redaktion, daß man den ökonomischen Prozess auf ein zu simples System des Energieaustauschs reduzieren könne.

(17)
Die statistische Vorgehensweise von Costanza wirft einige schwerwiegende Fragen auf. Über viele entscheidende Punkte werden wir im Ungewissen gelassen. Haben wir es mit primärer Energie (Kohle unter der Erde), sekundärer Energie (der aus der Kohle gewonnenen Wärme) oder tertiärer Energie (der aus der Wärme gewonnenen Elektrizität) zu tun? Man findet keine Erklärung für den rätselhaften Sonnenenergie-Input in zahlreichen Sektoren, insbesondere im Bereich aller Arbeitsleistungen. Rätselhaft ist auch, daß die Differenzen zwischen den Spalten B und A und den Spalten D und C (Seite 1221) nicht gleich sind, obwohl sie doch den Sonnenenergie-Input anzeigen. Costanza scheint überdies zu ignorieren, daß seine hohen Korrelationskoeffizienten (am besten) beweisen, daß Energie ein wichtiger stochastischer (zufallsabhängiger) Ausdruck von Kosten ist - eine Tatsache, die niemand bestreiten würde.

(18)
Bezüglich einiger anderer, die sich etwa zur selben Zeit zu diesem Thema äußerten, siehe NGR, 1976, Kap.1.

(19)
Da Stehles Äußerung in dieser Sache eine logische Schönheit enthält, will ich nicht einfach darüber hinweggehen: "Wenn gute und langlebige Kapitalgüter (durable "goods") ihren Preis haben, warum sollen dann langlebige schlechte Kapitalgüter (durable "bads") nicht teuer zu stehen kommen". (1983, S. 180)

(20)
Zu denken, daß wir die Zivilisation auf der Basis (wie das gegenwärtig der Fall ist) von Maschinen, die mit hohen Temperaturen arbeiten (wie z.B. bei Flugzeugen), fortsetzen können, heißt zu ignorieren, daß die Liste resistenter chemischer Elemente vollständig ist und die in meiner Anmerkung (7) aufgeführten benötigten Metalle sehr knapp sind. Demnach wäre dann auch die vollständige Erschöpfung von Columbium nicht so folgenlos, wie Solow (1973, S. 45) annimmt.

(21)
Hinsichtlich der vielen Spielarten in der Ausschmückung dieses Axioms zur Beschwichtigung der Öffentlichkeit, siehe J.K. Galbraith (1976).

(22)
Es muß angemerkt werden, daß die Gleichstellung der Zukunft mit der Gegenwart faktisch als leitendes Prinzip betrachtet werden muß, da man sonst einen aktuellen "steady-state" Zustand implizieren würde.

(23)
Eine Rezension in Contemporanul (Bukarest) behauptete amüsanterweise, mein Buch von 1971 zeige das "Zappeln" des kapitalistischen Systems in den Klauen des Entropiegesetzes.

(24)
Aber wir wollen nicht übersehen: Kein individueller Organismus und nicht einmal eine biologische Spezies kann wahrscheinlich ewig leben. Das vierte Gesetz erklärt, warum der Körper letztlich unwiderruflich zerfällt, wie uns wohl bekannt ist. Denkt man an Schumpeters ausgezeichnete Charakterisierung, "Das ökonomische Leben ist ein einmaliger Prozess, der in geschichtlicher Zeit und in einer gestörten Umwelt vor sich geht", dann kann der Begriff "lebensfähige Technologie" lediglich als nützliche analytische Abstraktion dienen.

(25)
"Ich gab Ihnen Feuer...und von ihm werden sie meine Fertigkeiten erlernen...die verborgenen Segnungen des Menschen, Kupfer, Eisen, Silber und Gold". Aeschylus, Prometheus Bound, S. 500-505.

(26)
Die Räderwerke zum Abpumpen des Grundwassers wurden in vielen Bergwerken von mehreren hundert Pferden angetrieben. Dies ist der Ursprung der Einheit "Pferdestärke".

(27)
Diese Ansicht habe ich erstmals bei dem jährlichen Treffen der Gesellschaft für Sonnenenergie von Kanada (Edmonton, 22. August 1977) in der Eröffnungsansprache "Vor uns ein neues Holz-Zeitalter?" und bei einem Gastvortrag auf dem Weltkongress über die zukünftigen Quellen organischer Rohstoffe (Toronto, 10.-13. Juli 1978) zu bedenken gegeben. Ich habe diese Ansicht anschließend in mehreren Schriften weiter ausgeführt: z.B. NGR, 1978; 1979. Gelegentlich erschienen - mit oder ohne Bezug auf meine Argumente - simple Erklärungen, die unterstellten, daß eine auf Solarenergie beruhende Technologie lebensfähig sei. Maycock und Stinewalt (1981, S. 129) behaupten, daß einige photo-elektrische Zellen "Rückerstattung an Energie innerhalb einiger Wochen leisten". Auch die Presse frohlockte mit der Meldung, daß die Solarex Corporation einen "Solar-Brüter" in Betrieb genommen habe, welcher photo-elektrische Zellen ohne jeden Energie-Input von Außen produziere (e.g. Omni, Oktober 1982, S. 42). Dieser "Solar-Brüter" ist jedoch selbst heute noch nicht in Betrieb. Außerdem handelt es sich nicht um ein prometheisches Verfahren, da der "Brüter" - wie die hervorragende Studie von Solarex erklärt (1977, S. 3) - von außen "Materialien für Produktion und Ausrüstung" beziehen muß.

(28)
Zur Überwindung dieses Hindernisses machte P.E. Glaser (1968) den Vorschlag, Sonnenenergie mit einem Satelliten zu sammeln und mit Hilfe von Mikrowellen zum Erdboden zu schicken. So eindrucksvoll dieser Gedanke auch ist, scheint es gegenwärtig leider zweifelhaft, ob das Verfahren von Glaser überhaupt durchführbar ist (Kommittee für Satelliten-Energie-Systeme, 1981).

(29)
Geothermische-, Gezeiten- und Wind-Energie sind in gewisser Hinsicht betriebsfähig, doch nur unter ganz bestimmten geographischen Bedingungen.

(30)
Die allergrößte Hoffnung habe ich nicht angeführt, nämlich die kontrollierte thermo-nukleare Energie. Vor Jahren wagte ich zu äußern, daß man diese Energie nur für Bomben nutzen kann, genau wie Schießpulver oder Dynamit (NGR, 1976). Diesen Gedanken habe ich auf dem Orbis Scientiae Symposium bewußt noch einmal wiederholt, was von dem ebenfalls anwesenden Edward Teller (Anm. d.V.: maßgeblich an der Entwicklung der Wasserstoffbombe beteiligt) zu meiner Überraschung protestlos aufgenommen wurde. Sein jüngstes Buch von 1980 enthüllt, daß er seine alte Hoffnung eines zwangsläufigen Erfolges kontrollierter Fusion aufgegeben hat.

Literaturverzeichnis

Barnett, Harold J. und Chandler, Morse, Scarcity and Growth, Baltimore: Johns Hopkins Press, 1963.

Boulding, Kenneth E., "The Economics of the Coming Spaceship Earth", in: J. Jarrett, Hrsg., Environmental Quality in a Growing Economy, Baltimore: Johns Hopkins Press, 1966.

Brooks, D.B., und P.W. Andrews, "Mineral Resources, Economic Growth, and the World Population", Science 185 (5. Juli 1974), S. 13-19.

Burness, Stuart, Ronald Cummings, Glenn Morris und Inja Paik, "Thermodynamic and Economic Concepts as Related to the Resource-Use Policies", Land Economics, 56 (Februar 1980), S. 1-9.

Butti, Ken, und Perlin, John, "Solar Water Heaters in California: 1891-1930", CoEvolution Quarterly (Herbst 1977), S. 4-13.

Chopra, Prem. S., "Why Do Solar Systems Fail?", Solar Engineering Magazine, 5 (Oktober 1980), S. 14-15.

Clausius, Rudolf, The Mechanical Theory of Heat, T.A. Hirst, Hrsg., London, John van Voorst, 1867.

Committee on Satellite Power Systems, Electric Power from Orbit, Washington, D.C., National Academy Press, 1981.

Costanza, R., "Embodied Energy and Economic Valuation", Science, 210 (12. Dezember 1980), S. 1219-24.

Cottrell, Fred, Energy and Society, New York: McGraw-Hill, 1953.

Daly, Herman, Hrsg., Toward a Steady-State Economy, San Francisco, W.H. Freeman, 1973.

Davis, Harold T., The Theory of Econometrics, Bloomington, Principia Press, 1941.

Engels, Friedrich, Dialectics of Nature, Moskau, Foreign Languages Publishing House, 1954.

Feyman, R.P., R.B. Leighton und M. Sands, The Feyman Lectures on Physics, Band 1, Reading, Mass., Addison-Wesley, 1966.

Fischetti, Mark A., "Supplying Demand Efficiently", IEEE Spectrum, 20 (Januar 1983), S. 59-63.

Forscher, Frederick, Energy Commentary and Analysis, Pittsburgh, Energy Management Consultants (März 1984).

Galbraith, John K., The Affluent Society, 3. Ausgabe, Boston, Houghton Mifflin, 1976.

Georgescu-Roegen, Nicholas, Analytical Economics: Issues and Problems, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1966.

Georgescu-Roegen, Nicholas, "The Economics of Production", Richard T. Ely Lecture, American Economic Review, 60 (Mai 1970), S. 1-9.

Georgescu-Roegen, Nicholas, The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1971.

Georgescu-Roegen, Nicholas, Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays, New York, Pergamon Press, 1976.

Georgescu-Roegen, Nicholas, "The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic Analysis", BioScience, 27 (April 1977), S. 266-270.

Georgescu-Roegen, Nicholas, "Technology Assessment: The Case of the Direct Use of Solar Energy", Atlantic Economic Journal, 6 (Dezember 1978), S. 15-21.

Georgescu-Roegen, Nicholas, "Energy Analysis and Economic Valuation", Southern Economic Journal, 45 (April 1979), S. 1023-1058. (Dieser Artikel enthält einige lästige Schreibfehler. Sie sind den Begleitumständen bei der Entstehung des Artikels zuzuschreiben. Eine Kopie der Fehlerliste ist über den Autor erhältlich).

Georgescu-Roegen, Nicholas, "Matter: A Resource Ignored by Thermodynamics", in: L.E. St.-Pierre und R.G. Brown, Hrsg., Future Sources of Organic Raw Materials, CHEMRAWN I, (Weltkonferenz, Toronto, 10.-13. Juni 1978), Oxford, Pergamon Press, 1980.

Georgescu-Roegen, Nicholas, "Energy, Matter, and Economic Valuation: Where Do We Stand?", in: Energy, Economics, and the Environment (Ein AAAS-Symposium 1980), Herman E. Daly und Alvaro F. Umana, Hrsg., Boulder, CO: Westview Press, 1981.

Georgescu-Roegen, Nicholas, "La dégradation entropique et la destinée Prométhéénne de la technologie humaine", Entropie, Sonderausgabe, 1982 a, S. 76-86.

Georgescu-Roegen, Nicholoas, "Energetic Dogma, Energetic Economics, and Viable Technology", in: Advances in the Economics of Energy and Resources, John R. Moroney, Hrsg., Band IV, Greenwich, Conn.: JAI Press, 1982 b.

Gilliland, Martha W., "Energy Analysis and Public Policy", Science, 186 (26. September 1975), S. 1051-1056.

Glaser, P.E., "Power from the Sun: Its Future", Science, 162 (22. November 1968), S. 857-861.

Goldsmith, Edward, "Thermodynamics or Ecodynamics? The Ecologist, 11 (Juli/August 1981), S. 178-195.

Harrod, Sir Roy, Reforming the World's Money, New York, St. Martin's Press, 1965.

Hayek, Friedrich, A. von, The Counter-Revolution in Science, Glencoe, IL.: The Free Press, 1952.

Helm, George F., Die Lehre von der Energie, Leipzig, A. Felix, 1887.

Hotelling, Harold, "The Economics of Exhaustible Resources", Journal of Political Economy, 39 (März/April 1931), S. 137-175.

Huettner, David A., "Net Energy Analyses: An Economic Assessment", Science, 189 (9. April 1976), S. 101-104.

Lichnerowicz, Marc, "Economie et thermodynamique: Un modéle d'èchange èconomique", Economies et Societés, 5 (Oktober 1971), S. 1641-86.

Lisman, J.H.C., "Econometrics and Thermodynamics: A Remark on Davis' Theory of Budgets", Econometrica, 17 (Januar 1949), S. 59-62.

Martinez-Alier, J., und Naredo, J.M.: "A Marxist Precursor of Energy Economics: Podolinsky", The Journal of Peasant Studies, 9 (Januar 1982), S. 207-224.

Maycock, P.D. und Stirewalt, E.N., Photovoltaics: Sunlight to Electricity in One Step, Andover, Mass.: Brick House, 1981.

Miernyk, William H., "Regional Economic Consequences of High Energy Prices in the United States", J. of Energy and Development, 1 (Frühjahr 1976), S. 213-239.

Miernyk, William H., The Illusion of Conventional Economics, Morgantown, WV.; West Virginia University Press, 1982.

Nugent, Jeffrey B., "Contemporary Issues in Development Economics", in: Nake M. Kamrany und Richard Day, Hrsg., Economic Issues of the Eighties, Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1979.

Odum, H.T., "Energy, Ecology, and Economics", Ambio (1973, Nr. 6), S. 220-27.

Ostwald, Wilhelm, Die Energie, Leipzig, J.A. Barth, 1908.

Pikler, Andrew, "Letter to the Editor", Econometrica, 18 (Januar 1950), S. 101.

Samuelson, Paul A., Economics, 11. Ausgabe, New York: McGraw-Hill, 1980.

Seaborg, Glenn T., "The Erehwon Machine: The Possibilities of Reconciling Goals by Way of New Technology", in: Sam H. Schurr, Hrsg., Economic Growth and Environment, Baltimore: Johns Hopkins Press, 1972.

Solarex Corporation, "Energy Requirement for the Production of Silicon Solar Arrays", Rockville, MD, 1977 (mimeographiert).

Solow, Robert M., "Is the End of the World at Hand?", Challenge, 16 (March/April 1973), S. 39-50.

Solow, Robert M., "The Economics of Resources or the Resources of Economics", American Economic Review, 64 (Mai 1974), S. 1-14.

Solvay, Ernest, Note sur des Formules d'Introduction à l'Energétique Physio- and Psycho-Sociologique, Bruxelles: H. Lamartin, 1902.

Stehle, John F., "The Economics of Entropy", Review of Social Economy, 40 (Oktober 1983), S. 179-182.

Teller, Edward, Energy from Heaven and Earth, Überarbeitete Auflage, San Francisco: W.H. Freeman, 1980.

Tinbergen, Jan, "How Do We Manage the Global Society?" in: H.F. Didsbury, Jr., Hrsg.; The Global Economy, Bethesda, MD.: World Future Society, 1985.

Van Ness, H.C., Understanding Thermodynamics, New York, McGraw-Hill, 1969.

Winiarski, L., "Essai sur la mécanique sociale: L'énergie sociale et ses mésurations", Revue Philosophique, 49 (March 1900), S. 256-287.

E N T R O P I E U N D B I O Ö K O N O M I E *
Geleitworte zur Person und zum paradigmatischen Vorschlag von Nicholas Georgescu-Roegen für eine menschliche Ökonomie

I. " A scholar`s scholar, an economist`s economist "

1. In Paraphrase zur Einführung von Dieter Groh ins Werk des englischen Sozialhistorikers E.P.Thompson (198o) kommt man kaum umhin festzustellen, daß es erstaunlich, ja beinahe beschämend ist, daß "NGR" (wie Nicholas Georgescu-Roegen sich in eigenen Arbeiten selbst gerne abzukürzen beliebt) in der Bundesrepublik immer noch einer Einführung bedarf. Dies gilt umsomehr, als im Gegensatz zu Thompson (von dem damals zumindest eine Arbeit in Deutsch vorlag) bis heute nicht eine einzige seiner grundlegenden Arbeiten ins Deutsche übersetzt worden ist.
Von den über 2oo Titeln an Büchern, Pamphleten und Artikeln aus seiner Feder (s.a.Anhang 2) sind seiner eigenen Aufstellung zufolge nicht einmal mehr als gerade drei Beiträge (Nr. 82, 113, 2o8)in deutschsprachigen Editionen zugänglich; der erste von 1972 ist die deutsche Fassung von "Entropy law and the economic problem" aus dem Jahre 1971, der zweite die 1976er Übersetzung des 1974 zuerst erschienenen "Mechanistic Dogma and Economics" und der dritte ein Tagungsbeitrag von 1985 zum Thema "Das Wechselspiel von institutionellen und materiellen Faktoren: das Problem und sein Status", der 1987 in einem Sammelband erschien.
Drei Artikel von mehreren Dutzend im Verlaufe der letzten rd. 17 Jahre seit dem Erscheinen seines "opus magnum" im Jahre 1971 mit dem bedeutungsvollen Titel "The Entropy Law and the Economic Process". Dieses epochemachende Werk ist ebensowenig ins deutsche übersetzt, wie seine beiden vorangehenden bzw. nachfolgenden Bücher "Analytical Economics" (1966) und "Energy and Economic Myths" (1976). In Vorbereitung hat "NGR" schon seit einiger Zeit ein Werk mit dem schlichten Titel "Bioeconomics" - und es wäre zu wünschen, daß sein Alter ihm noch das endliche Erscheinen ermöglicht, als auch, daß dieser vermutliche Schlußstein seines paradigmatischen Wechsels für die Ökonomie dann einen bereiteren Boden für eine baldige Übersetzung finden möge.

2. Bei alledem muß sofort hinzugefügt werden, daß es sich bei "NGR" nicht etwa - wie schon gelegentlich in der Geschichte der Ökonomie - um einen außerhalb der Profession stehenden Aussenseiter handelt. Ganz im Gegenteil: er kann auf eine glänzende und mit allen Ehrungen - außer dem Nobelpreis - versehene akademische Karriere zurückblicken, die er im letzten Jahrzehnt vor der Emeritierung in 1976 als "Distinguished Professor of Economics" an der Vanderbilt University abschloß, wo er seit 1949 schon Professor of Economics war, um seither einer noch regeren publizistischen Tätigkeit nachzugehen. Zahlreiche Gastprofessuren in den USA, Canada, Südamerika, Asien, Afrika und Europa komplettieren dieses Bild internationaler Anerkennung, die desweiteren in zahlreichen internationalen "Fellowships" und Mitgliedschaften in wissenschaftlichen Vereinigungen zum Ausdruck kommt.

---

* Für die Durchsicht dieser Geleitworte und hilfreiche - interdisziplinäre - Anmerkungen danke ich den Kollegen Dr. Jan Robert Bloch, Dr.Reinhard Pfriem, Dr. Birger P.Priddat sowie Dr.Theo Woike - wie üblich gehen die verbleibenden Mängel allein zu meinen Lasten.

Die Festschrift zu Ehren seines 7o.Geburtstages in 1976 "Evolution, Welfare, and Time in Economics" wurde von der Creme der Profession erstellt: von den 7 Beiträgen sind nicht weniger als 4 von Nobelpreisträgern (Simon Kuznets, Jan Tinbergen, Sir John Hicks, Paul A. Samuelson) verfaßt und auch die früheren Präsidenten der "American Economic Association" Kenneth E. Boulding sowie Joseph J. Spengler genießen hohe internationale Reputation; die Professoren John S. Chipman und James C.Moore steuerten ferner gemeinsam einen Beitrag zu Wohlfahrtsproblemen bei.

3. Zu diesem Zeitpunkt war Georgescu-Roegen schon gut ein Jahrzehnt als der Ökonom bekannt, der über die Grenzen dessen hinaus, was er später die "Standardökonomie" nannte und zu der er selbst seit den 3oer Jahren grundlegende Beiträge geliefert hatte, Erwägungen anzustellen begonnen hatte, die in immer weiteren Reflexionskreisen schließlich in das neue "bioökonomische Paradigma" von "NGR" hineinmündeten. Als ihm Anfang der 6oer Jahre die Möglichkeit geboten wurde, einen Band mit einer Reihe von früheren Beiträgen zusammenzustellen (der früheste aus 1935, der letzte von 196o zur Debatte der "Mathematical Proofs of the Breakdown of Capitalism"),fühlte er die Notwendigkeit zu einem grundlegenden Einführungsessay über "Some Orientation Issues in Economics", der "on basic issues" unvermeidlich "philosophical in character" ausfiel. Dieser rd. 13o seitige Essay von 1964 zur Einführung in die von keinem geringeren als Paul A. Samuelson bevorwortete Aufsatzsammlung "Analytical Economics" (1966) steckte erstmals den breiten Rahmen zu den methodologischen und inhaltlichen Problemen ab, die "NGR" dann ein halbes Jahrzehnt später zu seinem Hauptwerk, "The Entropy Law and the Economic Process" (1971) ausbaute. Dieses Buch widmete er seinen Lehrern und das wiederum fünf Jahre darauf erschienene "Energy and Economic Myths" (1976 - erneut eine Aufsatzsammlung mit verschiedenen Nachworten aus den Jahren 1952 - 1974) widmete er schließlich jenem wohl bekanntesten US-Ökonomen - Samuelson - mit dem zusammen er in einem extraordinären Kreis von jungen Ökonomen während seines ersten US-Aufenthaltes in den 3oer Jahren bei Joseph Schumpeter Nationalökonomie gelernt hatte - im Grunde ganz zufällig, wie er mir im persönlichen Gespräch diese entscheidende Weichenstellung in seinem Leben darstellte.

4. Man muß sich dies einmal vorstellen: diese Bilderbuch-Mitgift verdankt sich nur einer zufälligen Konstellation, in der der europäische Umgangsformen gewohnte NGR leicht "frustriert" (würde man wohl heute sagen) über den american way des Miteinanderumgehens war: als Rockefeller Visiting Fellow ging der damals 28-jährige Professor für Statistik der Universität Bucharest an die Harvard University/USA und fand dort in seiner Fakultät zwar freundliche Rückfragen (" what can I do for you ?"), aber seiner Erzählung zufolge keine offenen oder interessanten Türen zur Mitarbeit. In Erwägung, wer denn außerdem an seinen Arbeitsgebieten (mathematische Statistik, Wahrscheinlichkeitstheorie) interessiert sein könnte, kam er auf die Idee, daß die Ökonomen, speziell die Konjunkturzyklus-Theoretiker damit etwas zu tun haben könnten und fragte sich zu den Ökonomen durch. Man verwies ihn an einen gewissen, ihm bis dato unbekannten "Prof. Skampieter" (so etwa müßte die Auskunft wohl in Lautschrift geschrieben werden), der ihn mit den gegenteiligen Worten begrüßt habe: "what can you do ?" Es stellte sich heraus, daß dieser Mann Joseph Schumpeter war, der ein großes Interesse an dem von Haus aus gelernten Mathematiker "NGR" entwic-

kelte, ihm in seinem illustren Kreis (neben Samuelson wären auch O.Lange, P.M. Sweezy, Leontief u.a. dabeigewesen) ermöglichte, Ökonomie zu studieren und der - so berichtet es Samuelson in seinem 1966er Vorwort - "once hoped to collaborate with Nicholas Georgescu-Roegen on a definite economic treatise".

5. Zur Ausführung dieses Vorhabens war es aufgrund einer "NGR" selbst nicht mehr verständlichen Entscheidung , entgegen dem Ersuchen der Harvard-University 1937 nach Rumänien zurückzugehen, später nie mehr gekommen. Schumpeter starb 195o, nur kurze Zeit später nachdem "NGR" 1948 seine Heimat ein weiteres Mal verließ, um fortan in den USA zu leben. "Daß dieser Vorkriegstraum unerfüllt bleiben mußte, hat immer wieder mein Bedauern hervorgerufen" notierte Samuelson zu dieser unrealisierten Absicht einer gemeinsamen Arbeit von Schumpeter und "NGR" und er schließt sein Vorwort daher mit dem Satz: "Diese Auswahl von Abhandlungen (Papieren) bieten den bestmöglichen Trost".
Für ihn galt "NGR" zwar damals schon als "a pioneer in mathematical economics", aber zugleich "more than a mathematical economist". Normalerweise wären Ökonomen und Experten in Mathematik Enthusiasten dieser Richtung. Doch Roegen wäre eine Ausnahme von dieser Regel (vgl. a.seine kritische Darlegung von Möglichkeiten und Grenzen der Mathematik in den "Some General Conclusions" seines "Entropy Law ...", S.33o ff.). Gerade weil er eine so superlative Ausbildung in Mathematik hätte, wäre er so immun gegen ihren verführerischen Charme und immer fähig, "im Hinblick auf deren Anwendung eine objektive und sachlich-nüchterne Haltung beizubehalten". Mit einem - mittlerweile geflügelten - Wort : "in Georgescu-Roegen we have a scholar`s scholar , an economist`s economist".

6. In der Tat genießt "NGR" neben dem außergewöhnlichen Vorzug, in engstem Kontakt mit Schumpeter und seinem Kreis Ökonomie studiert zu haben, den in der heutigen Wissenschaft unschätzbaren Vorteil, zudem über eine profunde Kenntnis der Mathematik zu verfügen. Ja er ist, wie schon durchgeklungen ist, "von Hause aus" Mathematiker und hatte nach glänzenden Studienabschlüssen 1926 in Bucharest anschließend an der Pariser Sorbonne mit ebenso großem Erfolg in mathematischer Statistik promoviert. Dies brachte ihm ein zweijähriges "postdoctoral" Forschungsstipendium am University College London von 193o-32 unter Leitung des berühmten Karl Pearson ein. Danach ging "NGR" als Professor für Statistik nach Rumänien, wo er am 4.Febr. 19o6 in Constanza geboren war, an die Universität von Bucharest zurück und bekleidete diese Position bis 1946.
Nach der Zeit als Rockefeller Visiting Fellow von 1934-37 in Harvard und den währenddessen verfaßten ersten (allesamt bedeutenden) Arbeiten zur theoretischen Ökonomie unter Schumpeters Einfluß, nahm er in Rumänien noch verschiedene andere Positionen in wissenschaftlicher und staatlich-administrativer Funktion wahr.
1948 übersiedelte er dann mit seiner Frau, Otilia Busuioc, in die USA, um zunächst wieder in Harvard in Forschung und Lehre und seit 1949 an der Vanderbilt University die nächsten 27 Jahre bis zur Emeritierung als Professor für Ökonomie tätig zu werden.
Seit der Emeritierung in 1976 zum siebzigsten Lebensjahr konnte sich "NGR" - enthoben von allen akademischen Lehrverpflichtungen - in noch größerem Umfange der Ausgestaltung und publizistischen Umsetzung seines paradigmatischen Ansatzes widmen. Seine Hauptarbeiten wurden in div. Sprachen übersetzt und ihm wurden 1976,198o und 1983 drei Ehrendoktorwürden in Europa und den USA zuteil (eine

auszugsweise Übersicht zu den verschiedenen Ehrungen und Aktivitäten findet sich in dem schon erwähnten Buch seiner Landsleute Dragan und Demetrescu, welches auch eine Publikationsliste von "NGR" enthält; Dragan/Demetrescu beziehen sich dabei auf das im Editorial schon erwähnte [von Roegen selbst verfaßte] curriculum vitae samt vollständiger Biographie seiner Arbeiten.)

II." One of us, or alternative economist ?" oder: Vom Sündenfall eines Geachteten

7. Die hier stellvertretend mit Samuelsons Worten beleuchtete Wertschätzung, derer sich "NGR" in der Ökonomen-Profession vor allem aufgrund seiner klassischen Beiträge zur mathematischen Ökonomie sicher sein kann, vermag aber nicht darüber hinwegzutäuschen, daß für die mainstream- Ökonomie ein "NGR" nur bis etwa zu seinen "Analytical Economics" von 1966 existiert, während sein eigentliches Hauptwerk, das zugleich eine der fulminantesten zeitgenössischen Kritiken der herrschenden ökonomischen Auffassungen darstellt, entweder gar nicht ernsthaft in die mainstream-Diskussionen einbezogen oder für irrelevant gehalten wird.
Nur so ist eine merkwürdige Konstellation verstehbar, wie sie anläßlich des Gastvortrages von "NGR" in der Universität Hamburg geradezu typisch entstand: in seinen Begrüßungsworten reklamierte Prof.Dr.Dr. Harald Scherf, selbst Mathematiker und Ökonom sowie einer der ersten deutschen Rezensenten der Analytical Economics, den Vortragsgast als "one of us". Damit war mehr gemeint, als nur erneut auszusprechen, daß "NGR" ein hervorragender Ökonom ist, sondern enthielt zugleich eine (stellvertretend an den anwesenden Prof.K.M.Meyer-Abich gerichtete) Abfuhr an diejenigen, die im Werk von "NGR" meinten, irgend einen Anlaß zu finden, dieses im Sinne einer "alternativen Ökonomie" gegen die herrschenden Lehren ausspielen zu können.
Wer sich aber der nicht geringen Mühe unterziehen würde, die mit dem Einführungsessay der "Analytical Economics" begonnene, in dem Buch "The Entropy Law and the Economic Process" von 1971 weiter entfaltete und in Dutzenden von Arbeiten fortgeführte grundsätzliche Kritik an der bisherigen wissenschaftlichen Ökonomie zu studieren, der wird schwerlich bestreiten können, daß "NGR" damals meinte, den Grundansatz zu einer "alternativen" Ökonomie vorstellen zu müssen, die er in den darauffolgenden Jahren auch entfaltet hat.
Was aber heißt - jenseits der modischen Vokabel - "alternativ" in dem von "NGR" präzisierten Sinne - und v.a. "wozu" alternativ ?

8. Die Motive der Kritik an und Unzufriedenheit mit der wissenschaftlichen Ökonomie - so startete "NGR" in freier Übersetzung seine Einleitung zu "The Entropy Law ..." - seien zwar manigfaltig, aber die wichtigsten beträfen die Fiktion des "homo oeconomicus". Die Hauptanklage laute, daß diese Fiktion menschliches Verhalten jeder kulturellen Eigenart entkleide, was gleichbedeutend damit wäre, zu sagen, daß die Menschen in ihrem ökonomischen Leben mechanistisch handelten. Daher würden die Unzulänglichkeiten der modernen Ökonomie normalerweise in ihrer mechanistische Auffassung (oder Weltanschauung) gesehen. Diese Kritik ist laut "NGR" zwar unwiderruflich, aber: "die mechanistische Sünde der ökonomischen Theorie geht viel tiefer als in dieser Kritik impliziert. Auch wenn wir den ökonomischen Prozeß nur vom rein physikalischen Standpunkt betrachten, bleibt die Sünde bestehen. In Wahrheit ist

die Ökonomie, so wie sie im allgemeinen heute ausgeübt wird, in ebenso strengem Sinn mechanistisch wie das allgemein nur von der klassischen Mechanik angenommen wird. In diesem Sinn ist klassische Mechanik mechanistisch, denn sie erklärt weder die Existenz fortdauernder qualitativer Veränderungen in der Natur, noch nimmt sie diese Existenz als eine unabhängige Tatsache hin. Die Mechanik kennt nur Fortbewegung und Fortbewegung ist sowohl reversibel wie auch eigenschaftslos (qualityless)". (S.1)

Wie in einer Nußschale waren 1966 auf allgemeinster Ebene schon die wesentlichsten Defizite der ökonomischen Theorie mitbenannt und ebenso die Anforderungen bezeichnet, die nötig wären, sie zu überwinden: eine ökonomische Theorie, die wie die klassische Mechanik nur zeit- und qualitätslose Bewegung kennt, übersieht die Tatsache qualitativer und irreversibler Entwicklung(en).

Indem "NGR" eine Analogie zwischen klassischer Mechanik und herrschender ökonomischer Auffassung herstellt und indem er demgegenüber auf die "Revolution " in der Physik selbst Bezug nimmt, die sich dort im Zuge der Entwicklung einer nicht-mechanischen Thermodynamik vollzogen hatte , führt er einen Angriff auf die Grundfeste der wissenschaftlichen Ökonomie und ihr Selbstverständnis, der ihn mit einem Schlage zu einem Spielverderber bei einer von der Profession allseits geübten Veranstaltung macht, die allerdings nicht so harmlos ausgehen wird, wie die Geschichte von des Kaisers neuen Kleidern. Denn eine der fundamentalsten Konsequenzen aus allen folgenden Überlegungen und formalen Beweisführungen, die "NGR" zu ziehen genötigt ist, widerspricht aufs tiefste dem Wachstums-Credo der Ökonomie: jeder heute neu gebaute Cadillac verkürzt die Lebenschancen künftiger Generationen. Auf diese Kurzformel hat "NGR" seine Untersuchungen zum "Entropy Law and the Economic Process" an anderer Stelle später einmal gebracht, um schonungslos aufzudecken, wohin die industrielle Wachstums-Schraube zu angeblich immer größerem Wohlstand unausweichlich führen muß. Er empfiehlt daher auch sarkastisch, das "GNP" (Gross National Produkt=Brutto Sozialprodukt = übliches Wohlstandsmaß) besser "GNC" = Gross National Cost = Brutto National-Kosten zu nennen, da immer dann, wenn die natürlichen Resourcen unseres Planeten verkonsumiert werden, sie für künftige Bedarfe unverfügbar werden.

Mit solchen Positionen ist "NGR" längst nicht mehr einer der Ökonomen, die sich der dem Wachstum korrespondierenden Vorstellung unbegrenzter Substitutionsmöglichkeiten verschrieben haben. Er kann - gerade als unumstrittene Kapazität auf dem Hauptterrain der modern economics, dem der mathematischen Ökonomie - letztlich nur als Abtrünniger angesehen werden und sein "Sündenfall" ist die Sache mit dem "Entropylaw".Dieses sei - so hört man gelegentlich - wenn nicht vielleicht ganz falsch, so doch zumindest völlig irrelevant für unsere heutigen Hauptprobleme bzw. die wissenschaftliche Ökonomie. Insofern ist es für die hier nur beabsichtigten Geleitworte unumgänglich, wenigstens in einigen Stichworten die Basis der Roegenschen Argumentation etwas eingehender zu beleuchten, um die doppelte Frontstellung zu verdeutlichen, der "NGR" sich ausgesetzt sieht: einmal den Verteidigern der herrschenden "mechanistischen" Ökonomie gegenüber; zum anderen denjenigen gegenüber, die - ob nun identisch mit der ersten Gruppe oder nicht - seine Auslegung des "Entropylaw" entweder schon auf naturwissenschaftlich-physikalischer Ebene kritisieren oder/und seine Applikation auf den ökonomischen Prozeß für überzogen halten.

Im nachfolgenden Punkt III. wird versucht, die Grundauffassung von "NGR" zum Entropie-Gesetz und der von ihm um einen 4.Hauptsatz er-

weiterten Thermodynamik zu skizzieren. Im abschließenden Punkt IV. sollen einige der ökonomierelevanten Konsequenzen angeführt werden, die sich aus Roegens Ansatz ergeben, in dem hier übersetzten "Retrospect"-Artikel vielleicht aber nicht ohne weiteres ersichtlich werden.

III. Entropie - ein verwickeltes Problem. Roegens Vorschlag zu einem neuen 4.Hauptsatz der Thermodynamik

9. "NGR" hat in mehreren Beiträgen viel Sorgfalt darauf verwendet (zuletzt in dem für das New Palgrave Dictionary 1986 verfaßten Artikel "Entropy") die Herkunft und Entwicklung dieses Begriffes, v.a. aber das damit sachlich Gemeinte zu erhellen und von den Konfusionen zu befreien, die selbst unter Naturwissenschaftlern hierüber bestehen würden.
Der Begriff selbst ist zunächst ein von dem deutschen Physiker Rudolf Clausius (1822-1888) eingeführtes Kunstwort, das absichtlich dem Altgriechischen entlehnt ist, wörtlich übersetzt werden kann mit "nach innen gewandt" und den bis dato in der neuen physikalischen Disziplin "Thermodynamik" üblichen Begriff "Umwandlung" oder "Transformation" ersetzte.
In der physikalischen Wärmelehre begegnete man der Verknüpfung der Wärmemenge mit der Arbeitsleistung, wobei Wärme ebenso in Arbeit umgesetzt werden kann, wie umgekehrt Arbeit in Wärme. Weizsäcker/Juilfs führten hierzu in einer früheren allgemeinverständlichen Übersicht zur "Physik der Gegenwart" (1958) aus: R.Mayer und Joule hätten das Arbeitsäquivalent einer bestimmten Wärmemenge angegeben und damit den allgemeinen Erhaltungssatz der Energie begründet, der als erster Hauptsatz der Wärmelehre bezeichnet wird. Dieser besagt nun, "daß Energie überhaupt weder entstehen noch vergehen, sondern nur ihre Erscheinungsform ändern könne. Außer der mechanischen und thermischen Energie gibt es noch andere Formen: elektrische, magnetische, chemische und ... die Energie des Atomkerns. ... Der Energiesatz hat sich als eine fundamentalere Erkenntnis erwiesen als die klassische Mechanik. Man kann den Energiesatz auch als den Satz von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile bezeichnen. Ein Perpetuum mobile wäre eine Maschine, welche ohne sonstige dauernde Änderung des Zustandes ihres Inneren oder ihrer Umgebung dauernd Arbeit leistet. Ein "umgekehrt laufendes Perpetuum mobile" würde entsprechend dauernd ohne Gegenleistung Arbeit verschlucken. Beides widerspricht dem Energiesatz. Diese negative Formulierung aber macht die Kühnheit jeder allgemeinen Aussage von der Art des Energiesatzes deutlich: sie würde durch die Konstruktion eines einzigen Gegenbeispieles, durch den Bau eines Perpetuum mobile, widerlegt. Die Naturgesetze aber gelten wirklich: bis heute ist das Gegenbeispiel nicht geliefert worden." (ebd.S.36 f.)

Dieser hier bewußt zunächst nicht mit Roegens Darstellung belegte Sachverhalt - auf den allerdings auch "NGR" immer wieder rekurriert- ist ausgedrückt in dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik von Clausius :

1. Die Energie des Universums ist konstant.

Alle aber um uns und in uns ablaufenden Vorgänge - und damit kommen wir zu dem 2. Hauptsatz, dem Entropiegesetz - sind streng genommen unumkehrbar, ebenso, wie man die wirkliche Zeit nicht wie in einem Film rückwärts abrollen lassen kann, wie Weizsäcker/Juilfs betonen (S. 37).Diese jedermann erfahr- und einsehbare Tatsache der Unumkehrbarkeit wird aber in den Gesetzen der Mechanik nicht ausgedrückt! Diese Eigenschaft der wirklichen, geschichtlichen Zeit ist in der heutigen Physik -heben Weizsäcker/Juilfs hervor - nur an einer einzigen Stelle ausgedrückt, im 2. Hauptsatz der Wärmelehre, der in der Formulierung von Clausius (aufbauend auf Carnot) lautet :

2. Die Entropie im Universum tendiert zu einem Maximum

Wie "NGR", so veranschaulichen Weizsäcker/Juilfs ebenso wie andere Autoren den zugrundeliegenden Sachverhalt gerne mit folgendem Beispiel: "Gießt man kaltes Wasser in warmes, so gleichen sich die Temperaturen aus, ohne daß Arbeit geleistet wird. Man kann diesen Ausgleich in keiner Weise rückgängig machen, ohne von außen Energie zuzuführen oder andere, ihrerseits unumkehrbare Änderungen an der Umwelt vorzunehmen. Ein bewegter Körper kann durch Reibung zur Ruhe gebracht werden. Erwärmt man einen ruhenden Körper mit der dabei freiwerdenden Wärme, so setzt er sich dadurch noch nicht in Bewegung. Allgemein kann man sagen, daß zwar Arbeit vollständig in Wärme umgewandelt werden kann, aber Wärme nicht vollständig in Arbeit.Man kann Temperaturdifferenzen zur Arbeitsleistung ausnutzen; das tut z.B. die Dampfmaschine. Aber die Wärmemenge, die sich auf der jeweils geringsten verfügbaren Temperatur befindet, ist für die Umwandlung in Arbeit verloren. Sonst könnte man z.B. eine Maschine bauen, die Arbeit gewinnt, indem sie lediglich den Ozean abkühlt.Der zweite Hauptsatz kann formuliert werden als der Satz von der Unmöglichkeit eines "Perpetuum mobile zweiter Art", d.h. eines Apparates, der Arbeit lediglich durch Abkühlung eines Wärmereservoirs leistet, ohne daß sich dabei irgend etwas anderes in der Welt permanent ändert." (ebd. S.37 f).
"NGR" rekapituliert diesen Sachverhalt in seinem 1986er "Entropy"-Artikel Schritt für Schritt von den ihn betreffenden theoretischen Originalquellen her und unter Verwendung des formalen Apparates. Er erinnert, daß die Planck/Kelvin-Form der Aussage zum zweiten Hauptsatz ebenfalls das Perpetuum zweiter Art negierte. Beide, Kelvin und Clausius, hatten das Theorem auf dem 1. Hauptsatz für ein isoliertes System aufgebaut sowie auf einer Formulierung des 2. Hauptsatzes, worin Kelvin-Planck mit Clausius zwar übereinkämen, letzterer aber die immer noch transparenteste Fassung lieferte:

> Wärme kann von sich aus nicht von einem kälteren
> zu einem wärmeren Körper übergehen.

Der allgemeinverständlichen Erklärung von Weizsäcker/Juilfs zufolge führt die mathematische Fassung zu einer neuen - Entropiegenannten-Größe, die als ein Maß für die in Gestalt von Wärme für die Arbeitsleistung verlorene Energie gelten kann. Darin äußere sich das Vorkommen nicht-umkehrbarer, irreversibler Vorgänge inso-

fern, als die Entropie eines gegen die Umgebung isolierten Systems bei allen physikalischen Vorgängen im Inneren des Systems nur konstant bleiben oder zunehmen, niemals aber abnehmen könne. Mit anderen Worten: Ein Vorgang, bei dem die Entropie konstant bleibt, wäre umkehrbar, was umgekehrt für einen, bei dem die Entropie wächst, nicht gälte. Dies wären die theoretischen Möglichkeiten. Aber, so schließen Weizsäcker/Juilfs ihre kurze Darstellung von 1958, "In aller Strenge ist kein Vorgang in der Welt umkehrbar, da eine Entropiezunahme stets eintritt". (ebd. S.38)

10. Während also das erste thermodynamische Gesetz nicht in Widerspruch zur klassischen Mechanik steht, steht das Entropiegesetz nicht nur im Widerspruch dazu, sondern postuliert zudem uno actu mit der Irreversibilität eine Richtung, einen "Zeitpfeil", wie Sir Eddington es eingängig ausdrückte. Damit wird die Entropie zu einer Art Indikator der Entwicklung (der Zukunft).
Diese Entdeckung des 19. Jahrhunderts kam einer Revolution der Physik gleich und zeitigte zudem tiefe Eindrücke im allg. Bewußtsein. Was letzteres anbetrifft, so stellte der verstorbene Erich Jantsch, der sein Buch "Die Selbstorganisation des Universums" (1979) "dem Katalysator des Paradigmas der Selbstorganisation", Ilya Progogine, gewidmet hatte, folgende Verbindung her: "Ludwig Boltzmann interpretierte vor mehr als hundert Jahren diese Entropiezunahme als fortschreitende Desorganisation, als Evolution auf einen "wahrscheinlichsten" Zustand maximaler Unordnung hin. Ließ die mechanische Betrachtungsweise die Welt als eine stationär funktionierende Maschine erscheinen, so drängte sich nun das düstere Bild vom unentrinnbaren "Wärmetod" der Welt auf, das die pessimistische Philosophie und Kunst um die Jahrhundertwende und bis in unsere Zeit so nachdrücklich beeinflußt hat." (S.57)
Auf der physikalisch-wissenschaftlichen Ebene sah man sich vor die Frage gestellt, wie diese beiden grundlegend unterschiedenen Beschreibungen der Natur aufeinander bezogen und miteinander verknüpft werden könnten. Der Nobelpreisträger für Chemie 1977, der soeben erwähnte Ilya Prigogine, Prof.für Physikalische Chemie in Brüssel, hat in dem mit Isabelle Stengers 198o (dt.1981) publizierten Buch: "Dialog mit der Natur - Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens" die wesentlichen Stationen dieser bis heute reichenden Diskussion nachgezeichnet (125ff., 132ff., 2o7ff., 265ff.), die mit der Annahme der Herausforderung der neuen "Energetiker" seitens der traditionellen "Atomisten" seit Ludwig Boltzmann zu verzeichnen sind.Den Ausgangspunkt bezeichnen Prigogine/Stengers wie folgt: "Diese (traditionellen Physiker,d.V.) wollten jedoch nicht aufgeben, was sie für das eigentliche Ziel der Physik hielten: die Komplexität der Naturerscheinungen zurückzuführen auf die Einfachheit elementarer Verhaltensweisen, wie sie in den Bewegungsgesetzen zum Ausdruck kommen."(S.131) Boltzmanns eigentliche Neuerung habe nun darin bestanden , die statistische Wahrscheinlichkeitstheorie nicht als ein Mittel der Näherung, sondern als Erklärungsprinzip in die Physik einzuführen, um zu zeigen, daß ein System dadurch, daß es selbst aus einer großen Population besteht, auf die wiederum die Wahrscheinlichkeitsgesetze Anwendung finden, ein neuartiges Verhalten annehmen könne.(ebd.) Und das Boltzmannsche Ordnungsprinzip besagte, daß der wahrscheinlichste Zustand, den ein System erreichen kann, derjenige sei,in dem die massenhaften Ereignisse, die gleichzeitig in dem System stattfinden, sich in ihrer Wechselwirkung statistisch ausgleichen (ebd.S.133). Aber gegen diesen ersten Versuch, das Problem der Ir-

reversibilität dadurch zu lösen, daß die Entropie auf die Dynamik (Mechanik) zurückgeführt werden sollte, wurden schon gleich nach dem Erscheinen seiner Arbeiten 1872 schwerwiegende Bedenken (Poincaré, Loschmidt) formuliert, auf die Progogine erst heute glaubt, einen Ausweg aufzeigen zu können, der einen entscheidenden Schritt (bei zugestandener Offenheit zahlreicher Probleme, Prigogine/Stengers, S.264 ff.) auf dem einmal eingeschlagenen Wege der Erzeugung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes aus der Dynamik getan habe.
Im Rahmen eines solchen Geleitwortes kann eine eingehendere Auseinandersetzung mit der Auffassung von Prigogine kaum erfolgen, zumal die "Kontroverse um sein Werk" - wie der Untertitel eines von G.Altner 1986 herausgegebenen Sammelbandes: "Die Welt als offenes System" lautet - erst in den Anfängen steckt und von mir zur Entwicklung eines eigenen Standpunktes noch nicht hinreichend bedacht ist (vgl.a. die von E.v.Weizsäcker herausgegebenen Beiträge zur Zeitstruktur von Information,Entropie und Evolution' in dem Band: Offene Systeme I, 1974). C.F.v. Weizsäcker jedenfalls hatte die von Glansdorff und Prigogine 1971 vorgelegte Arbeit "Thermodynamic Theory of Structure ,Stability and Fluctuations " in seinem Aufsatz "Evolution und Entropiewachstum" (in dem soeben angeführten Sammelband "Offene Systeme I") zum Anlaß genommen, eine "Notiz" zur Begründung folgender Auffassung zu geben: "Die positive Beschreibung der Strukturentwicklung entropieerzeugender Prozesse fern vom Gleichgewicht wird als überzeugend akzeptiert, einschließlich der dabei vorkommenden Verminderungen der Entropieproduktionsrate. Das Evolutionsmodell von Eigen war sogar ein Anstoß zu dieser Notiz durch die Frage, wie in ihm eigentlich die Entropie definiert werden soll. Die These ist nur, daß dort, wo Gestaltentwicklung tatsächlich vorkommt, bei genauer Definition der zugehörigen Entropie dem Wachstum der Vielzahl und Komplexität der Gestalten ein Wachstum und nicht eine Abnahme desjenigen Summanden der Entropie entspricht, der der Gestaltinformation zugeordnet ist. Der Eindruck eines Konflikts zwischen Gestaltentwicklung und Zweitem Hauptsatz ist, wenn die These richtig ist, nur die Folge einer im allgemeinen unzutreffenden, aus einigen Beispielen verallgemeinerten Gleichsetzung der Entropie mit einem Maß gestaltenarmer Gleichförmigkeit. Der Wärmetod wäre, hinreichend niedrige Temperatur vorausgesetzt, nicht ein Brei, sondern eine Versammlung von komplizierten Skeletten " (in: Offene Systeme I, 1974, S.2o2 f.)
Es schien mir infolgedessen notwendig, auf diesen nicht nur schon genobelten, sondern naturwissenschaftlich-philosophisch einflußreichen Prigogineschen Ansatz zum "Wachstum der Grenzen" (so der Titel eines von J.R.Bloch/W.Maier herausgegebenen Buches von 1984, welches sich mit der Selbstorganisation in der Natur und der Zukunft der Gesellschaft befaßt) hinzuweisen, denn er steht in einem bislang noch nicht ausgetragenen Gegensatz zur Deutung des Entropieproblems von "NGR "- wie letzterem wohlbekannt und bewußt ist (vgl. z.B. Anmerkung 4 in vorliegender Retrospektive).

11. Wohlvertraut mit der Geschichte, den formal-mathematischen Beweisführungen und den neuesten Deutungen (incl. Prigogines Theorie offener, selbstorganisierender Systeme) des Entropieprinzips, meint "NGR" gleichwohl, daß seine vollständige Aufstellung sehr einfach sei: "Es besagt lediglich, daß die Entropie des Universums (oder eines isolierten Gebildes) konstant zunimmt, und zwar unwiderruflich, wie ich hinzufügen möchte. An Stelle dessen kann man

sagen, daß es im Universum einen fortwährenden unwiderruflichen Übergang von freier in gebundene Energie gibt. Heutzutage begegnet man wahrscheinlich eher einer modernen Interpretation dieses Zerfalls als ständige Verwandlung von Ordnung in Unordnung. Diese Vorstellung beruht auf der Wahrnehmung, daß freie Energie eine geordnete Struktur besitzt, während gebundene Energie chaotisch und ungeordnet verteilt ist. Um das Bild zu ergänzen, sollte noch hinzugefügt werden, daß die volle Bedeutung des Entropiegesetzes nicht darin liegt, daß der qualitative Zerfall nur in Verbindung mit der von intelligenten Wesen bewußt ausgeführten mechanischen Arbeit geschieht. Am Beispiel der Sonnenenergie sieht man, daß der entropische Zerfall unabhängig davon abläuft, ob die freie Energie für die Produktion mechanischer Arbeit genutzt wird. Also wird die freie Energie eines Stückes Kohle irgendwann in nutzlose Energie zerfallen, auch wenn das Kohlestück in der Erzader verbleibt. (The Entropy Law..., 1971, S.6).
Diese Entropie-Deutung ist nun der spezifische Ausgangspunkt der Roegenschen Folgerungen für die Ökonomie und die von ihm in vorliegendem Artikel erneut hervorgehobene Notwendigkeit, die thermodynamischen Gesetze um ein von ihm erfundenes 4. Gesetz zu erweitern und zu vervollständigen. Hierzu gleich näheres in Punkt 13.; vorab nur noch einige Bemerkungen zur "NGR"-Einschätzung der seit Boltzmann bis Progogine laufenden (bio-)physikalischen Diskussion.

12. Schon in seiner 1971er Einleitung zu "The Entropy Law ..." warnte er davor, "daß der Laie sich dazu verleiten läßt, an "Entropie-Schwindel" zu glauben, durch das, was Physiker mit der neuen Wissenschaft der statistischen Mechanik, die man genauer mit statistischer Thermodynamik bezeichnet, predigen. Genau die Existenz dieser Disziplin spiegelt die Tatsache wieder, daß der menschliche Geist trotz aller Beweise noch immer mit der Hartnäckigkeit blinder Verzweiflung an der Idee der tatsächlichen Existenz der Bewegung und sonst nichts, festhält. Ein Symptom dieser Idiosynkrasie war der tragische Kampf von Ludwig Boltzmann, eine thermodynamische Wissenschaft zu verkaufen, die auf einer hybriden Begründung basiert, in der die Starrheit der mechanischen Gesetze mit der Unsicherheit, die im Begriff der Wahrscheinlichkeit liegt, verwoben ist. In Bitterkeit über die wachsende Kritik an seinen Ideen nahm sich Boltzmann das Leben. Aber nach seinem Tod veranlaßte dieselbe menschliche Idiosynkrasie fast jedermann, alle logischen Fehler, die diese Kritik herausgearbeitet hatte, mit Füßen zu treten, so daß Boltzmanns Idee ein anerkannter Zweig der Physik hatte werden können. Entsprechend der neuen Disziplin wäre ein Haufen Asche sehr gut in der Lage, einen Kessel zu heizen. Genauso könnte eine Leiche wiederbelebt werden und ein zweites Leben in genau der umgekehrten Reihenfolge des ersten Leben. Nur wären die Wahrscheinlichkeiten solcher Ereignisse fantastisch gering. Wenn wir noch nicht Zeuge solcher "Wunder" wurden - so die Verfechter der statistischen Mechanik - dann nur, weil wir uns (eben) noch nicht eine genügend große Auswahl von Aschehaufen und Leichen angesehen haben (ebda. S. 6f.).

In Auseinandersetzung mit dieser seit Boltzmann geübten statistischen Mechanik weist "NGR" in seinem 1986er "Entropy" -Artikel darauf hin, daß man erst nach der Einführung und Beweisführung des Konzeptes von "freier" (oder verfügbarer), bzw."gebundener" (unverfügbarer) Energie durch Helmholtz (1882) in der Lage war, Clausius` Entropiegesetz zu übertragen in den Satz:

> "Die freie Energie jedes isolierten Systems degradiert beständig in gebundene Energie "

Erst diese Formulierung bezeichne die überragende Rolle der Entropie in der gesamten Natur - wie bspw. von Eddington und Einstein anerkannt wurde. Als bemerkenswert verzeichnet "NGR" die Tatsache, daß Lord Kelvin, der als erster (1852) von "The Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Energy " gesprochen hatte, kaum jemals den Ausdruck "Entropie" verwandte.
Desweiteren macht "NGR" darauf aufmerksam, daß zur gleichen Zeit, wie die Grundlagen der klassischen Thermodynamik gelegt wurden, der englische Philosoph und Soziologe Herbert Spencer (182o-19o3) mit einigen Lehrsätzen aufwartete, die Darwins Theorie vorausahnten. Einer dieser Sätze: "Das Homogene ist die Brutstätte des Heterogenen" erschien wie eine Charakterisierung lebender Systeme. Ebensowenig wie Lord Kelvin wäre Helmholtz darauf vorbereitet gewesen, sich darauf einzulassen, daß die entropische Degradation gleichfalls auf belebte Materie zutreffen solle und der französische Philosoph und Nobelpreisträger Henri Bergson (1859-1941) behauptete sogar, daß das Lebendige dieser Degradation entgegengesetzt sei.
Natürlich - präzisiert "NGR" seine Auffassung zur Vermeidung von Mißverständnissen - "...Das Leben verletze das Entropiegesetz nicht, denn, wie es Erwin Schrödinger (...) vor nicht allzu langer Zeit ausdrückte, eine menschliche Kreatur ist kein isoliertes System: es verändert seine Entropie mit seiner Umgebung. Jedoch folgt aus der Tatsache, daß so ein Phänomen thermodynamisch nicht unmöglich ist, überhaupt nicht, daß dies auch existiert. Aus diesem Grunde argumentieren einige Gelehrte, daß es in der Natur auch eine Anti-Entropie geben müsse - Ektropie, so genannt von G. Hirth und aufgegriffen von Felix Auerbach, cder Anti-Zufall, dem Ausdruck von Sir Eddington (...). Die dissipativen Strukturen, kürzlich von Ilya Prigogine aufgestellt (1980), um den entropischen Vorgang, der lebenden Organismen eigen ist, darzustellen, bedeuten einen neue Krönung der Spencerschen Lehre, wie Prigogine erkennt." ("NGR", Entropy,1986,S.lo; "NGR" spielt hier auf eine Bemerkung von Glansdorff/Prigogine zur Rechtfertigung der Spencerschen Ansicht von 1862 an, die auch Weizsäcker zum zentralen Ausgangspunkt seiner zuletzt erwähnten "Notiz" nahm und in seiner deutschen Übertragung lautet: "Entwicklung ist Integration von Materie und begleitende Dissipation von Bewegung", Offene Systeme, S.2ol)
Auch die beträchtliche Verwirrung des Entropiekonzeptes, die die informations-(kommunikations-) theoretischen Arbeiten von C.H.Shannon (1948) ausgelöst hätten, kritisiert "NGR", der es daher als hochbedeutsam ansieht, daß Shannon selbst in einem unbemerkten (vignetted ?)Artikel in "The Bandwagon" ohne zu zögern gegen den Gebrauch seines "Entropie"-Begriffs jenseits der Domäne technischer Kommunikation protestiert habe (vgl. a. "NGR", The Measure of Information: A Critique,1971; wiederum sei nur als Beleg hier nicht weiter aufzunehmender Kontroversen um die Fruchtbarkeit des informationstheoretisch erweiterten Begriffs der Entropie ein Satz aus der jüngeren "Notiz" von Weizsäckers angegeben, mit dem er seine "korrigierende Durchführung eines älteren

Gedankens" einleitet : "Ich war damals der herrschenden Meinung, die Herausbildung von Gestalten bedeute in der Tat eine Abnahme der Entropie, die jedoch durch die Entropieproduktion der begleitenden irreversiblen Prozesse überkompensiert werde. Das war aber, wie ich jetzt sehe, eine Inkonsequenz. Der Begriff der Entropie ist so allgemein und abstrakt, daß auch die Angabe einer hohen a-priori-Wahrscheinlichkeit für einen gestaltenreichen Zustand darauf hinausläuft, ihm eine hohe Entropie zuzuschreiben. Damals war der Shannonsche Informationsbegriff noch nicht bekannt, mit dessen Hilfe das Problem im folgenden beschrieben werden kann",(Offene Systeme, S.2o4). Im Gegensatz zu "NGR" mißt offenbar Weizsäcker dem Shannonschen Informationsbegriff eine theoretisch erhellende Funktion in der Vermittlung zwischen Entropie und Evolution bei, während er andererseits - sofern ich seine nachfolgenden Ausführungen verstehe - an dem von Roegen immer wieder hervorgehobenen grundlegenden Gehalt des Entropiebegriffes nichts ändere ?)
Während das Entropiekonzept über nahezu loo Jahre mit diesen oder anderen " Neuerungen " oftmals völlig willkürlich einer Veränderung unterzogen wurde - so schließt "NGR" seinen "Entropy"-Artikel von 1986 -, habe ein vitaler Punkt keinen Platz in der Thermodynamik gefunden, nämlich die makroskopische Bedeutung der Materie."Die Materie wird ja nur indirekt erwähnt, als Reibung. Prigogine (...) hat zwar den Bereich der Thermodynamik von geschlossenen (materieundurchlässigen) Systemen auf offene erweitert, aber er betrachtete Materie nur als Träger von Energie - die Hitze eines rotglühenden Eisenstücks zum Beispiel. Niemand scheint die wichtige Lehre aus Gibbs Beweis gezogen zu haben, daß die Vermischung (Durchdringung) zweier Gase mit der gleichen Temperatur die Entropie erhöht. Diese Erhöhung ist auf die entropische Degradation der Materie zurückzuführen. Um diese Lücke zu füllen, besagt ein neues Gesetz der Thermodynamik, daß

ein Perpetuum Mobile der dritten Art unmöglich ist,

was bedeutet, daß kein geschlossenes System (nicht zu verwechseln mit "isoliertem" System) unbeschränkt Arbeit verrichten kann. Dies liegt daran, daß auch makroskopische Materie entropisch degradiert (...) (NGR,198o; gemeint ist sein Aufsatz: Matter: A Resource ignored by Thermodynamics)" (Entropy, 1986,S.12).
Als tieferliegenden Grund für all diese von Clausius wohl kaum vorhergesehenen Verwirrungen um das bizarre Wort " Entropie " gab "NGR" schon 1971 ("The Entropy Law ...") einen Aspekt an, der von allgemeinem Interesse sei: "Es handelt sich um eine der menschlichen Schwächen, genauer gesagt darum, daß wir nur ungern unsere Grenzen in Bezug auf Raum, Zeit, Materie und Energie erkennen. Es ist wegen dieser Schwäche, daß, obwohl niemand so weit gehen würde zu behaupten, es wäre möglich den Kessel mit ein bißchen Asche zu heizen, die Idee der Umgehung des Entropiegesetzes durch Erschleichung von niedriger Entropie mittels irgendwelcher raffinierter Hilfsmittel, ein Schnippchen schlagen könnten, immer wieder modiche Erscheinungsformen hat. Auch ist der Mensch geneigt zu glauben, daß es eine Form der Energie mit einer selbstregenerierenden Kraft gibt." (1971,S.6)
Diese moderne Hybris des "was nicht sein darf, das nicht sein kann" scheint wohl die letzte Auskunft von "NGR" für das Nicht-Wahrnehmen der Relevanz des Entropiegesetzes im allgemeinen zu sein, wie auch für die Ökonomie oder den ökonomischen Prozeß im besonderen.
Diesen von ihm entwickelten und analysierten Zusammenhang - in vorliegender deutschen Erstübersetzung ebenso, wie in verschie-

denen anderen Beiträgen seit 1966/1971 - noch ein wenig mehr im Zusammenhang mit dem von "NGR" vorgeschlagenen 4. thermodynamischen Gesetz zu verdeutlichen, dient der folgende Punkt, bevor abschließend unter IV. auf die Folgerungen eingegangen wird, die Roegen für die Ökonomie als Wissenschaft zieht.

13. Das erste thermodynamische Gesetz (Erhaltungssatz) formuliert in Übereinstimmung mit der klassischen Mechanik , daß die gesamte Energie eines isolierten Systems konstant bleibt - es wird keine zusätzliche gewonnen, keine geht verloren, aber es findet eine beständige Transformation von Materie in Energie und Energie in verschiedene andere Zustände statt. Das 2. Gesetz zeigt die Richtung dieser Transformation, den entropischen Prozeß an: vom Zustand hoher Energiekonzentration zu einem "zerstreuter" Energie - was im Widerspruch mit der Mechanik steht. Die äquivalente, jedoch sehr viel allgemeinere und folgenreichere Formulierung ist, daß die gesamte Energie eines geschlossenen Systems vom Zustand der Ordnung zu dem der "Unordnung" (Desorganisation) übergeht. Demnach wäre der Zustand minimaler Entropie jener mit höchster Energiekonzentration, wobei die verfügbare Energie zur Verrichtung von Arbeit maximal wäre und zugleich dem Zustand höchster Organisation entspräche. Umgekehrt: der Zustand maximaler Entropie wiese überhaupt keine Konzentration mehr auf (alle Energie wäre maximal zerstreut) und alle verfügbare Energie wäre vollständig unverfügbar geworden. Damit wäre das System vollständig desorganisiert, d.h. " tot". Vgl. Ernst Mach >Mechanik<

Da die Energie des Universums beständig diesem qualitativen entropischen Prozeß (der Energie-Degradation) unterliegt, hat "NGR" hierfür das anschauliche Bild ihrer irreversiblen Zerstreung in einer kosmischen Sanduhr gewählt (vgl. in Matter matters too, 1977), wobei es im Unterschied zu einer gewöhnlichen Sanduhr nicht bei uns steht, sie wieder umzudrehen.

Energie aber war ja - und hier setzen die in ihrer Ausführlichkeit auf den ersten Blick u.U.nicht so recht nachvollziehbaren in physikkritischer Absicht aufgegriffenen physikalischen Beispiele ein - zugleich als Maß und Fähigkeit definiert, Arbeit zu leisten: "Hebt man einen Körper von 1 kg. Gewicht um 5 Meter, so muß man dabei eine bestimmte Arbeit A leisten " - lautet der erste Satz in dem oben schon zitierten Einführungstext von Weizsäcker/Juilfs zum Kapitel "Energie"(S.19). Zwar könne man den Newtonischen Axiomen zufolge den Energieerhaltungssatz (T + U = const.) aufstellen, aber in dieser Form - verbal: die Summe der kinetischen und potentiellen Energie eines Körpers ist konstant - gelte der Satz keineswegs allgemein: "Zum Beispiel kann durch die Reibungskräfte ein bewegter Körper zur Ruhe kommen. Hier geht kinetische Energie verloren, ohne sich in potentielle Energie umzusetzen. Die ihr entsprechende Arbeit kann nicht wiedergewonnen werden." (ebd., S.2o)
Energie ist demnach zunächst nur eine allgemeine analytische Größe für meherere andere Bedeutungen wie Temperatur, Wärme oder besonders mechanische Arbeit. Wärme und mechanische Arbeit sind aber Energien in transitorischer Form. Verfügbare Energie ist die Art der Energie, die genutzt werden kann zur Gewinnung von mechanischer Arbeit und es kommt "NGR" darauf an, sich klar zu machen, daß es keine mechanische Arbeit ohne äquivalente Aufwendungen von Energie geben kann - dies entspricht dem Ausschluß eines irgendwie gearteten "Perpetuum mobiles". Verfügbare Energie ist demzufolge die Form der Energie, die jedes Stückchen Leben auf der Erde aufrechterhält. Umgekehrt ist unverfügbare Energie nicht mehr nutzbar

für irgendeinen dieser Prozesse und - wie schon gesehen - nicht einmal alle interne Energie kann in mechanische Arbeit umgesetzt werden. Das Maximum an Arbeit, welches aus einem System gezogen werden kann, hängt von der Entropie in diesem System ab und dementsprechend ist dieses Maximum höchstens gleich der verfügbaren Energie oder "freien Energie" nach Helmholtz.
Die entropische Transformation müsse "NGR" zufolge um eine Analyse der Materie ("Matter") ergänzt werden, da Energie im Gegensatz zu Materie, die heterogen sei, homogen ist und die Thermodynamik normalerweise die Materie nur im Zusammenhang mit der Verausgabung von verfügbarer Energie durch mechanische Arbeit in Reibungsprozessen ohne jedweden Nutzen untersucht. In der wirklichen Welt jedoch seien in jedem Prozess sowohl Energie als aber auch Materie beteiligt und kein Prozess könne ohne Reibung verlaufen. Immer sei ein Minimum an Kräften erforderlich, um die Reibungskräfte zwischen festen Körpern zu überwinden. Die reine thermodynamische Theorie ließe nun nicht nur die Materie außer Betracht, sondern schenke auch der Reibung keine Beachtung.
Demgegenüber macht nun "NGR" darauf aufmerksam, daß ebenso wie Energie transformiert wird, so auch verfügbare Materie in unverfügbare Materie übergeht. Ein Teil dieser Materie, nämlich der, welcher zwar verfügbar, aber nicht mehr in brauchbarer/nützlicher Form verfügbar ist (wie z.B. Schrott)., könne "recycled" werden ("garbojunk" nennt "NGR" diesen Teil). Ein anderer Teil hingegen ist unwiderruflich für menschliche Nutzanwendungen verloren, wie z.B. die zerstreuten Moleküle von Autoreifen.
Zwar könne man argumentieren, daß Materie eine körnige Struktur habe und man sie demzufolge mit einer gehörigen Portion Energie zurückgewinnen können müßte. Aber zweifellos erfordere dies - wie "NGR" in vorliegender Retrospektive noch einmal am Beispiel der Perlenkette verdeutlicht - wieder ein zusätzlich Doppeltes: Zeit und Energie. Damit will "NGR" die praktische Unmöglichkeit vollständig reversibler Prozesse verdeutlichen und auf die Grenzen menschlicher Fähigkeiten aufmerksam machen, die s.M.n. ein neues 4.thermodynamishes Gesetz aufzustellen erfordern, für das er zwei Fassungen anbietet (zum 3. und "nullten" Gesetz s.a. die Bemerkungen von "NGR" in vorliegendem Text):

1. Unverfügbare Materie ist nicht wiederzugewinnen
2. Ein geschlossenes System (d.h. ein System ohne Austausch von Materie mit der Umwelt) kann nicht ad infinitum Arbeit mit konstanter Rate leisten.

Mit diesem neuen, von "NGR" erst im Verlaufe seines eigenen Nachdenkens entdeckten (wie er in vorliegendem Artikel fast selbstkritisch bekennt) thermodynamischen Gesetz wird für die Materie das Gleiche behauptet, was der Zweite Hauptsatz für die Energie besagt, wenngleich es folgenden Unterschied gibt: in einem isolierten System (ohne Austausch von Materie mit der Umgebung) besteht im Gegensatz zu der Tendenz zum thermischen Tot (wo alle Energie unverfügbar geworden ist, also nicht mehr nutzbar) dann die Tendenz zum Chaos (wo die gesamte Materie-Energie nicht mehr nutzbar wäre).
Aus seinem neuen 4.thermodynamischen Gesetz schlußfolgert "NGR" die Notwendigkeit, das Konzept der "Netto-Energie" durch ein entsprechendes Konzept der "Netto-Materie" zu ergänzen. Wenn bspw.zur Förderung von loo Tonnen Kohle die Energie benötigt wird, die durch lo Tonnen Kohle erzeugt werden kann, sei die Netto-Energie 9o Tonnen. Genauso berechtigt wäre dann zu sagen, daß die Kupfer-

gewinnung Netto- Materie produziert. Analog hierzu kann man folglich auch von einer negativen Netto-Energie oder von einer negativen Netto-Materie sprechen. Selbst wenn man - diesem Gedanken folgend - überlegen würde, den Produktionsprozeß auf einen einzigen primären Energie-Input (auch für die nachfolgenden Produktionsphasen) zu reduzieren, um so die Kosten des Kupferbergbaus einzig und allein auf Energie zu stützen, würde dies die Bestimmung der Netto-Energie nicht klären. Was nämlich zusätzlich benötigt würde, wäre die Erfindung eines gemeinsamen Nenners für Materie (Kupfer, Kohle etc.) und Energie. Die Identifizierung eines solchen Generalnenners wäre insbesondere für die ökonomischen Aktivitäten von großem Belang (wie auch für die gesamten biologischen Aktivitäten im allgemeinen). Hierzu hat "NGR" spezielle Vorschläge entwickelt, die in seinem Buch "Demain la Décroissance" von 1979 als "General Flow Matrix of the Circulation of Matter and Energy" vorgestellt worden sind (vgl. a. Dragan/Demetrescu, 126-131)

IV. Thermodynamische und bioökonomische sowie erkenntnistheoretische Grundlagen für die ökonomische Wissenschaft und Roegens bioökonomisches Minimalprogramm

14. Auch wenn - wie angedeutet - "NGR" selbst erst später zur Ausarbeitung seiner bioökonomischen Auffassung weitere fehlende Bausteine beizutragen suchte, so hat sich an der grundlegenden Position von 1971 nichts geändert; im Gegenteil hat folgender Satz noch schärfere Konturen angenommen: "Vom Standpunkt der Wirtschaftswissenschaft jedoch ist die Wichtigkeit dieser Revolution (die Entdeckung der gegen die klassische Mechanik gerichteten Entropie, d.V.) größer als die Tatsache, daß sie die Vorherrschaft der mechanischen Erkenntnistheorie in der Physik beendet hat. Die wichtige Tatsache für den Ökonomen ist, daß die neue Wissenschaft der Thermodynamik als Physik vom ökonomischen Wert angetreten ist (gemeint sind hier die vom Militär-Ingenieur Sadi Carnot zuerst angestellten Maschinen-Zyklen Untersuchungen, d.V.) und im Wesentlichen immer noch als solche betrachtet werden kann. Das Entropiegesetz selbst stellt sich als das in der Natur ökonomischste aller Naturgesetze heraus. ...nur eine Analyse der engen Beziehung zwischen dem Entropiegesetz und dem ökonomischen Prozeß kann jene entscheidenden qualitativen Aspekte dieses Prozesses zum Vorschein bringen, für welche die mechanische Analogie der modernen Ökonomie keinen Platz hat". (The Entropy Law...1971,S.3)
Roegen war sich damals schon im Klaren darüber, daß man sich damit in fremde Gefilde einlassen muß und Gefahr läuft, über Dinge zu reden, für die man von Hause aus nicht qualifiziert ist zu sprechen (ebd.S.4); was er als einzigen verantwortbaren, aber angesichts des schwerwiegenden Problems notwendigen Weg ansah, hat er dank seiner mathematischen Mitgift wohl immer auch selber zu beherzigen gewußt: "Bewegt man sich auf fremdem wissenschaftlichem Boden, so kann man sich in dieser Situation eigentlich nur auf die Schriften derjenigen verlassen, die auf ihrem Gebiet tonangebend sind und im Interesse des Lesers ist es unerläßlich, die Quellen anzugeben (ungeachtet der gegenwärtigen literarischen Modeerscheinung, die Anzahl der Fußnoten zu minimieren oder gar ganz abzuschaffen)" (ebda.).
Die überragende Bedeutung der Entdeckung des Entropiegesetzes in der Wissenschaftsgeschichte im allgemeinen und für die Ökonomie im besonderen stellte er daher seiner ersten systematischen Rekonstruktionsbemühung im Buch "The Entropy Law ..." von 1971 aus-

drücklich heraus: "Die Geometrie (etymologisch begriffen), Astronomie und die Klassische Mechanik haben uns an Stärke der Wissenschaft gewöhnt, "exakt" zu bestimmen, Wo und Wann ein bestimmtes Ereignis stattfinden wird. Später lehrten uns die Quantenphänomene mit der schwächeren Position zufrieden zu sein, bei der die naturwissenschaftlichen Gesetze bestenfalls (merely) die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses bestimmen. Aber das Entropiegesetz stellt einen Sonderfall dar. Es bestimmt weder wann (der Uhrzeit nach) die Entropie eines geschlossenen Systems einen bestimmten Pegel erreichen wird, noch genau was passieren wird. Trotz dieses Nachteils (und im Gegensatz zu dem, was manche behaupten), ist das Entropiegesetz nicht nutzlos: In der Tat bestimmt es die allgemeine Richtung des entropischen Prozesses eines beliebigen isolierten Systems (ebda., S. 12).
Aber diese "Determination" muß immer im Zusammenhang mit dem Erhaltungssatz von Energie und Materie gesehen werden, so daß alles, was wir über diesen Gesamtprozeß im Zeitverlauf sagen könnten, darauf hinausliefe, daß die Gesamtenergie konstant bliebe, während die Verteilung der Energie immer gleicher würde. Deshalb lieferten die thermodynamischen Gesetze zugleich auch Momente substantieller Freiheiten im jeweils aktuellen Entwicklungspfad und Zeitmuster entropischer Prozesse; m.a.W.: "Der in dieser Studie vertretenen Position über die Natur thermodynamischer Phänomene zufolge (und soweit..., d.V.) darf diese Freiheit nicht mit einer ziellosen Unsicherheit verwechseln werden. Wir können sie als entropische Unbestimmtheit bezeichnen (S. 12).

15. Auf diese "Undeterminiertheit" legt Roegen nun aus mehreren Gründen größten Wert: ohne sie wäre es keinem Lebewesen möglich, seine Entropie konstant zu halten, noch wäre es der Menschheit möglich, hohe Entropy in niedrige zu verwandeln (wie in der Produktion von Stahl durch Eisenerz und Kohle). Vor allem aber wäre es allem Lebendigen unmöglich, niedrige Umgebungsentropie anzustreben und sie in den vielfältigsten Formen zu nutzen, wie es die Bakterien, Krebse, Schmetterlinge oder homo sapiens tun. Andererseits aber müßten wir uns darüber im klaren sein, daß diese Unbestimmtheit selbst noch nicht die Existenz der unendlich vielfältigen Formen und Funktion sichert, die im organischen Bereich entfaltet werden. Nach der klassischen Mechanik bliebe nichts indeterminiert und die in der Quantenmechanik enthaltene Freiheit ist begrenzt nur auf Wahrscheinlichkeit, nicht auf permanente Variationen. Daher müßte die Tatsache der Artenvielfalt immer noch als ein Rätsel erscheinen, wenn es nicht ein Prinzip gäbe, welches für die Lösung sorgte : "Das Auftreten von Neuem durch Kombination" - wie Roegen es phänomenologisch nennt (ebd.) und womöglich damit etwas im Blick hatte, wie es im Prigogineschen Ansatz mit neuen, sich selbstorganisierenden Strukturen zum Ausdruck gelangte ?

Vgl. Emergenzen in der Genetik

Biodiversität

Jedenfalls lehnt Roegen auf dem Hintergrund dieser beiden Prinzipien - "entropische Unbestimmtheit" und "Neuerung durch Kombination" - schon methodologisch jede ihm falsch dünkende Einseitigkeit der Untersuchungsweise ab: weder ausschließlich mikroskopische, noch ausschließliche makroskopische Forschungen seien hinreichend zur Erkenntnis von bestimmten Entitäten. Natürlich sollten wir z.B. Moleküle untersuchen, "nicht nur die der Organismen, sondern überall wo wir sie vorfinden. Wegen der Neuerung durch die Kombination sollten wir aber gleichzeitig nicht übersehen, daß uns die Eigenschaften der Moleküle wegen der Neuheit durch Kombination als solche nicht in die Lage versetzen, auch das Verhalten von Organismen - oder allgemeiner ausgedrückt, das Verhalten eines Moleküls im Verhältnis zu irgend einem anderen Molekül zu erkennen" (ebda., S. 13).
Die Schlußfolgerung ist evident, wird in allgemeiner Form in dem Satz zum Ausdruck gebracht "Der Biologe muß sich mit dem Studium der Moleküle, der Zellen und Organismen beschäftigen, so wie der Ökonom die ökonomischen Einheiten und die gesamte Ökonomie studieren muß." (ebd.S-14) und führt "NGR" zu eingehenderen Diskussionen über die Stärken und Schwächen der mikro- und makroökonomischen Analytik ("Entropy Law ..., S. 33o ff.). Beide seien notwendig, aber insofern sie der mathematisch- quantifizierenden Denkungsart entsprächen- dafür prägte "NGR" den Begriff "arithmomorph" - doch nicht hinreichend für das, was in der Ökonomie nötig wäre, da die schon von Schrödinger für das biologische Leben herausgestellte Schwierigkeit für den Gegenstandsbereich der Ökonomie nicht in der benötigten Mathematik läge, "sondern in der Tatsache, daß das Thema selbst zu viele Facetten hat, um völlig auf Mathematik abgebildet werden zu können" (in diesem Roegen-Zitat zitiert Roegen aus E.Schrödingers Arbeit: Was ist Leben ? d.V.). Und was diesen Gegenstand nicht völlig auf Mathematik abbildbar macht, das ist die Rolle, die die kulturellen Eigenschaften im ökonomischen Prozeß spielen (ebd. S.341f.)

16. Die Roegenschen Ausführungen zu diesen Sätzen lassen zwei weitere Grundanliegen seines paradigmatischen Neuansatzes für die Ökonomie erkennen: die Relativierung der Fruchtbarkeit mathematisch "arithmomorpher" ökonomischer Theorien zum Verständnis qualitativer ökonomischer Prozesse zum einen; zum anderen - und es kommt nicht von ungefähr, daß die kritisierten Positionen in der Theoriegeschichte zumeist eng mit der Mathematisierungstendenz einherging - die Kritik an Positionen der Vertreter der "reinen Ökonomie", denenzufolge in Paretianischer Tradition "die Ökonomie durch Abstraktion den homo ethicus, den homo religiosus und alle anderen homines ebenso ignorieren kann, wie die Geometrie die Chemie" (gesperrt) (ebd.S.318).

Zu welchem Zwecke ist Ökonomie das Mittel?

Positiv gewendet hat "NGR" daher versucht, ein doppeltes zu leisten: einmal eine nähere Bestimmung darüber zu geben, warum Ökonomie keine theoretische (unterstr.) Wissenschaft sein könne , sondern als Wissenschaft stets dialektische Konzepte entwickeln müsse, die allein den qualitativen Erscheinungen und Entwicklungen gerecht werden könnten (vgl. Entropy Law..., S. 322 ff.); zum anderen neigt er in dem für längere Zeit scheinbar eindeutig zugunsten der "reinen Theorie" entschiedenen Methodenstreit in der Ökonomie wohl eher den vermeintlich unterlegenen Vertretern einer "historisch-ethischen" oder "institutionalistischen" Orientierung zu (ohne ihn i.E. unkritisch gegenüber den Schwächen dieser Schulen zu machen). Während der Interessierte hinsichtlich einer nähe-

ren Lektüre zum ersten Komplex (arithmomorphe Erkenntnistheorie vs.dialektische Konzepte) noch immer auf die z.T. verstreuten Quellen bzw. die Kapitel II und XI von "The Entropy Law ..." in Englisch angewiesen ist, liegt zum zweiten seit kurzem zumindest ein zusammenfassender Aufriß der Roegenschen Auffassung in deutscher Übersetzung unter dem Titel vor "Das Wechselspiel von institutionellen und materiellen Faktoren: Das Problem und sein Status" (1987). Literatur

17. Aus diesen soweit nur benannten erkenntnistheoretischen und den näher erläuterten thermodynamischen und bioökonomischen Neu-Basierungen einer - vom Anspruch der arithmomorphen Auffassung her gesehen - "nicht-theoretischen" Wissenschaft des ökonomischen Prozesses resultieren im Roegenschen Werk eine ganze Reihe weiterer Folgerungen und Einsichten, die man in Paraphrase seiner 1976er Essay-Sammlung (Energy and Economic Myths) gut unter die von Dragan/Demetrescu (1986) gewählte, zusammenfassende Überschrift bringen kann: "Mythos und Wirklichkeit des ökonomischen Prozesses" (vgl.dort Part V.,S.151 ff).
Hierunter fallen verschiedendste Arbeiten von "NGR", in denen in zumeist kritischer Absicht gegenüber den von der Standard-Ökonomie wachgehaltenen Mythen zur überzeitlichen Gültigkeit ihres mechanistischen Paradigmas die bedrohliche Wirklichkeit des tatsächlichen ökonomischen Prozesses in und ausgehend von den industriellen "Wachstums"- Ländern für unsere Erde analysiert wird. Einige dieser Arbeiten sind versammelt und somit zumindest in englisch gut zugänglich in dem erwähnten Band "Energy and Economic Myths-Institutional and Analytical Economic Essays", wobei die letzte allerdings bereits von 1975 datiert. Danach sind rd. weitere loo Einzel-Arbeiten hinzugekommen (s.a. Anhang 2) und es würde jeden Rahmen sprengen, auf sie hier näher einzugehen. Leider sind diese Arbeiten bislang nur in verschiedensten Journalen, nicht aber zumindest schon in einem weiteren Sammelband zugänglich; in deutsch schon gar nicht, sieht man von der erfreulichen Ausnahme des erwähnten 1987er Beitrages zur "institutionellen Ökonomie" ab. Auch - so wurde w.o. schon gesagt - steht die angekündigte englische Originalausgabe von "Bioeconomics" immer noch aus, so daß es in der Tat kein einfaches Unternehmen ist, sich des aktuellen Forschungsstandes von "NGR" zu den zahlreichen Aspekten seines weiträumigen Ansatzes zu vergewissern. Umso willkommener war uns daher seine Erlaubnis zur Übersetzung des hier vorliegenden "Retrospect"-Beitrages, der natürlich nur einen ersten summarischen Einblick in Roegens Werk zu bieten vermag.

18. Dieses Werk hat sich seit dem einleitenden Essay zu "Analytical Economics" vor 2o Jahren entwickelt, auch wenn dort in nuce schon die grundlegensten Überlegungen zum Zusammenhang zwischen dem Entropy-Gesetz und dem ökonomischen Prozeß enthalten waren. So fundamental insofern auch immer die Wahr-Nehmung des entropischen Naturgesetzes sowie Roegens originäre Ergänzung um sein 4.Thermodynamisches Gesetz schon allg. sein mag, so sind es im besonderen doch erst die für die Ökonomie seitdem weiter ausgearbeiteten Schlußfolgerungen, die die neuen "Bioeconomics" zu dem neuen öko-ökologischen Paradigma erheben.
Im Gegensatz nämlich zu dem "optimistischen" Credo der herrschenden "Standardökonomie" hinsichtlich der vermeintlich unendlichen Substituierbarkeit erschöpfbarer Resourcen durch "technologischen Fortschritt" (Roegen belegt diese Hybris in vorliegender Retrospektive mit einem Samuelson-Zitat), der zugleich die Wachstumsmanie impliziert und legitimiert, kommt "NGR" in seiner Analyse des ökonomischen Prozesses zu völlig gegenteiligen Ergebnissen. Seine entropische Analyse trifft gleichsam ins Herzstück der ökonomischen Profession und ihrer eleganten "arithmomorphen" - und eben darum auch völlig inadäquaten - Analytik der Eigenart ökonomischer Entwicklungen:
die neuzeitlich industrielle Wirtschaftstätigkeit ist "NGR" zufolge nichts anderes als ein sich selbst zwangsläufig beschleunigender Prozeß der Transformation von vorhandener und verfügbarer Energie aus (für uns) nutzbaren Zuständen in solche, die für uns nicht mehr (länger) nutzbar sind - wohl sehend und bekräftigend, daß der Zweck der ganzen ökonomischen Aktivitäten darin besteht, "Lebensgenuß" (enjoyment of life) zu erzielen.
Um diesen Satz und seine innewohnende Problematik widerstrebender Tendenzen in vollem Umfange aus dem Werk von Roegen zu entwickeln, bedürfte es einer eigenständigen Abhandlung über die div.theoretischen und analytischen Zwischenschritte (incl. der schon erwähnten neu geschaffenen bzw.in die ökonomische Theorie eingeführten Begrifflichkeiten, wie bspw. der "analytico-physiological approach" zur Erfassung der qualitativen Natur ökonomischer Entwicklungsprozesse im Gegensatz zu bloßen quantitativen Zunahmen, die Kritik und radikale Neuformulierung der "Produktionsfunktion" oder die Begrifflichkeiten renewable/non-renewable energy, endosomatic-exosomatic instruments etc.); von all diesen Elementen macht "NGR" natürlich in vorliegendem Retrospect-Artikel umstandslosen Gebrauch wie w.o.schon erwähnt wurde, setzt aber in Wirklichkeit eingehendere Darlegungen an anderer Stelle voraus, vgl.die hilfreichen Abschnitte samt der entsprechenden Literatur in den Teilen "4.Bioeconomics and thermodynamic foundations of political economy" und "5.Myths and actualities of economic processes" des angeführten Buches von Dragan/Demetrescu.
Aus den letzten Beiträgen Roegens ist v.a.seine Theorie der "feasible recipes" (praktikable Verfahren/Techniken) und "viable technology"(lebensfähige Technologie) zu nennen, in deren Zusammenhang er auch die in vorliegender Übersetzung verwendete Metapher "prometheische Erfindung " einführte. Beide Konzepte sind in Terms von Materie-Energie definiert und nicht in Terms von Geld-Kosten vs. Nutzen-Kosten.
Das wahre Gesicht des ökonomischen Prozesses und einer entsprechenden Produktionstheorie müsse Roegen zufolge von der grundlegenden Unterscheidung zweier Faktoren des materiellen Produktionsprozesses ausgehen: funds (stocks) and flows, wobei die ersteren

(Bestandsgrößen) die materielle Basis des Prozesses und die flow-Elemente (Stromgrößen) Gegenstand der Änderung in diesem Prozeß (Transformation) sind. Als thermodynamische Produktionstheorie habe sich (entwickelt "NGR" in meheren Schritten) eine ökonomische Produktionstheorie daher auf den (in seiner "General Flow Matrix of the Circulation of Matter and Energy ", Demain la Décroissance,1979 aufgewiesenen) Zusammenhang von energy-inflows und waste-outflaws mit dem Ziel zu orientieren, den unumgänglichen Energieverbrauch zu minimieren, d.h.Prozesse niedriger Entropie zu begünstigen, um die ohnehin stattfindende Entropie nicht zusätzlich zu erhöhen. Aus diesem Grunde unterschied Roegen "renewable" (erneuerbare) und "non-renewable" Energie. Aus menschlicher Perspektive ist einzig und allein die Sonne solch eine "unerschöpfliche" (=renewable) Energiequelle, während die nutzbaren Nuklear-Energien nicht nur immense Kosten verursachen u.v.a.bislang unhandhabbare Langzeit-Risiken in sich bergen, sondern Roegens grundlegendem Einwand unterliegen, daß sie nicht mehr Energie produzieren könnten, als gleichsam in sie hineingesteckt wird: Energie kann den thermodynamischen Gesetzen nicht geschaffen, sondern nur transformiert werden (vgl. a. Dragan/Demetrescus Zusammenfassung der Argumente von Roegen, S.137 ff). Die traditionelle Landwirtschaft hat die vollen Vorteile der Sonnerenergie genutzt und so einen niederentropischen "Produktionsprozeß" vollzogen, der allerdings "Zeit" (auch "müßige" Wartezeit) brauchte, die nicht wie im industriellen Produktionsprozeß " in line" ("NGR" differenziert in diesem Zusammenhang elementare "in series" Prozesse weiter in solche "in line" wie für die Industrie und solche "in parallel" wie für die Landwirtschaft, vgl. a. Feasible Recipes versus viable technologies,1984) "rationalisierbar" ist; mit der industriellen Agrikultur - getragen von chemischer Düngung - bezieht auch dieser Prozeß die erforderliche Energie nicht mehr (nur) allein von der Sonne, sondern aus irdischer Materie, so daß Agrikultur mehr und mehr auch zu einem entropischen Prozeß degeneriert mit allen daraus resultierenden Langfristfolgen.
Um die nicht-erneuerbaren Energien ist es allem Wissen zufolge schlecht bestellt und eine gigantische Energie-Krise steht der Menschheit angesichts folgender Schätzungen bevor: jedes Jahr wächst die Erdbevölkerung um ca.73 Mill. Menschen, was zur Foge hat, daß im Jahre 2000 der Gesamtenergiebedarf um etwa das Vierfache größer sein würde wie im Jahre 1975 !
Synthetische Brennstoffe lösen das Problem wohl kaum, sondern verschlimmern es womöglich noch, da ihre Produktion den Treibhauseffekt und die Polkappenabschmelzung begünstigt. Nach Expertenschätzungen wird auch die Hälfte der nachweislich abbaubaren Reserven nutzbarer Metalle unseres Planeten binnen 75 Jahren (bei gegenwärtiger Ausbeutungsrate) erschöpft sein; die Problemliste kann weitergeführt werden (vgl.ebd.S.138 ff).
Angesichts dieser heute vorhersehbaren "Mensch-gemachten"-Knappheiten und dem ungebrochenen Mythos der Ökonomie unendlicher Substutionsmöglichkeit traf "NGR" die o.a. Unterscheidung zwischen einem "machbaren Rezept" (feasible recipe=ausführbares Rezept) und einer "lebensfähigen" (viable) Technologie: machbare Verahren/Rezepte bedingen noch lange keine lebensfähigen Technologien, wenngleich alle lebensfähigen Technologien machbare Rezepte voraussetzen. Ein Beispiel von größter Bedeutung wird auch in vorliegendem Retrospect-Artikel angeführt, die Sonnenenergietechnologie. Obwohl es Verfahren zur Gewinnung der Sonnenergie gibt, sind diese

feasible recipes Roegens Studien der relevanten Expertisen zufolge noch längst keine viable technologies, da sie sich bislang noch "parasitär" zu anderen Energiequellen verhielten, weil ihr Energie-output ihren Gesamtenergie-input nicht übertrifft. Dies aber wäre nach Roegen die Forderung an "prometheische" Erfindungen, die uns aus der drohenden Energiekrise herausführen könnten. (Der Verf. wird als Beiratsmitglied des IÖW darauf dringen, daß insbesondere dieser Problembereich künftig verstärkt verfolgt wird).
So ist es die naturgegebene Asymmetrie der "Knappheit" beider nieder-entropischen Quellen: der Sonnenenergie, von der die Landwirtschaft und der Bodenschätze, von der die industrielle Produktion abhängt, die im Zuge des akzellerierenden industriellen Produktionsprozesses zu der absehbaren Situation führen wird, wo die Menschheit sich gleichsam selbst den Ast absägen wird, auf dem sie zu ihrer modernen Bequemlichkeit sitzt, denn: der ökonomische Prozeß produziert aus thermodynamischer Sicht nichts anderes als die Transformation von niedriger Entropie in Abfall. Und je schneller dieser Prozeß betrieben wird, umso rascher akkumulieren sich die lebens-schädlichen Abfälle, aus denen wir nur noch mit umso mehr Energie in "Recycling"-Prozessen immer weniger Wiederverwendbares herausziehen können. Eine Schraube mit voraussehbarem Ende - wenn auch ohne genaue Daten und prognostischen Präzisionen, welche Menschen, welche nachkommenden Generationen bzw. Völker am ehesten von den Auswirkungen dieses Zirkels betroffen sein werden.

19. Es bleibt daher abschließend das "Biökonomische Minimalprogramm" anzuführen, welches Roegen schon 1972 glaubte, aus seinen bis dahin gewonnenen Einsichten über den Zusammenhang des Entropiegesetzes mit dem ökonomischen Prozeß formulieren zu können - und auch 1986 offenbar noch aufrechterhält, wie seine Bemerkung hierzu im vorletzten Abschnitt erkennen läßt (er spricht dort vom Minimalprogramm von 1976, da der betreffende Titel "Energy and Economic Myths" aus 1972, in dem dieses Minimalprogramm erstmals formuliert war, in dem gleichlautenden 1976er Buch als erster Text erneut abgedruckt wurde). Dieses Minimalprogramm steht dort in 8 Punkten formuliert am Ende einer Argumentation des Abschnittes XI. dieses Aufsatzes und lautet:

> 1. Die Produktion sämtlicher Kriegsgüter wird verboten, nicht nur der Krieg selbst. Es ist völlig absurd (und scheinheilig) mit dem Anbau von Tabak fortzufahren, wenn niemand vorhat zu rauchen. Diejenigen Nationen, deren Entwicklungsstand ihnen ermöglicht Hauptanbieter von Kriegsgütern zu sein, sollten keine Schwierigkeiten haben, zu einem ein solches Verbot beinhaltenden Konsens zu gelangen, zumal sie für sich in Anspruch nehmen, die Weisheit von Führern der Menschheit zu besitzen. Ein Produktionsstop von Kriegsgütern würde nicht nur dem Massentöten mittels raffinierter Waffen ein Ende setzen, sondern auch immense Produktivkräfte für internationale Hilfeleistungen freisetzen, ohne den Lebensstandard der Geberländer zu senken.
>
> 2. Durch die Nutzung dieser Produktivkräfte sowie zusätzlicher durchdachter und ernstgemeinter Maßnahmen müssen die Länder der Dritten Welt darin unterstützt werden, so schnell wie möglich gute (nicht luxuriöse) Lebensbedingungen zu erreichen. Beide Seiten müssen sich in effektiver Weise an den

für diese Veränderungen erforderlichen Anstrengungen beteiligen und die Notwendigkeit einer radikalen Änderung ihrer polarisierten Weltsicht akzeptieren (Ich habe dabei auf der Dai Dong Konferenz in Stockholm 1972 eine Maßnahme vorgeschlagen, deren Durchführung mit weit weniger Schwierigkeiten verbunden zu sein scheint, als sich mit allen möglichen Einrichtungen herumzuschlagen. Mein Vorschlag war, allen Menschen zu erlauben, sich frei von einem Land in jedes andere zu bewegen. Die Aufnahme war weniger als lauwarm).

3. Die Menschheit muß ihre Bevölkerung langsam auf ein Niveau reduzieren, das in adäquater Weise durch ausschließlich organische Landwirtschaft ernährt werden kann (Um einer Fehlinterpretation vorzubeugen, möchte ich hinzufügen, daß der gegenwärtige Bio-Nahrungsfimmel mit diesem Vorschlag, der auf den in Abschnitt X. dargelegten Gründen basiert, nichts zu tun hat). Natürlich werden die Länder, die zur Zeit ein hohes demographisches Wachstum erleben, hart zu kämpfen haben, um schnellstmöglich in diese Richtung gehende Resultate zu erzielen.

4. Bis die direkte Nutzung der Sonnenenergie allgemein zugänglich ist oder eine kontrollierte Kernfusion möglich ist, muß jede Energieverschwendung - durch Überheizen und Überkühlen, zu hohe Geschwindigkeit oder zu hohen Lichtverbrauch, etc. - sorgfältig vermieden und nötigenfalls strikt reguliert werden.

5. Wir müssen von dem morbiden Streben nach extravaganten Gerätschaften Abschied nehmen, versinnbildlicht etwa durch Golfkarren oder solche Prachtstücke wie Autos, die zwei Garagen benötigen. Tun wir dies, werden die Hersteller die Produktion solcher "Waren" einstellen müssen.

6. Wir müssen uns von der Mode befreien, jener "Krankheit des menschlichen Geistes" wie Abbot Fernando Galliani sie charakterisiert hat. Es ist tatsächlich eine Geisteskrankheit, einen Mantel oder ein Möbelstück wegzuwerfen, solange es noch von spezifischen Nutzen ist. Jedes Jahr ein neues Auto zu kaufen und jedes zweite Jahr die Wohnung zu renovieren ist ein bioökonomisches Verbrechen. Andere Autoren haben vorgeschlagen, Güter so zu produzieren, daß sie haltbarer sind. Wichtiger ist, daß sich die Konsumenten dazu umerziehen, die Mode zu verachten. Denn dann werden die Hersteller sich um Dauerhaftigkeit bemühen müssen.

7. Eng mit dem vorhergehenden Punkt verbunden ist die Notwendigkeit, dauerhafte Güter noch dauerhafter zu machen, indem man schon bei ihrer Entwicklung auf Reparierbarkeit achtet. (Man muß heute, um ein plastisches Bild zu verwenden, vielfach ein Paar Schuhe nur deshalb wegwerfen, weil ein Schnürsenkel gerissen ist.)

8. Völlig in Einklang mit dem bisher ausgeführten, müssen wir uns vor dem hüten, was ich das "Circumdrom des Rasierapparats" genannt habe. Dieses besteht darin, sich schneller zu rasieren, um mehr Zeit zu haben um einen Apparat herzustel-

len, der es ermöglicht, sich schneller zu rasieren um mehr Zeit zu haben, um einen Apparat herzustellen, der es erlaubt sich noch schneller zu rasieren, und so fort ad infinitum. Eine Abkehr hiervon wird bei denjenigen Professionen, die die Menschheit in einen inhaltlosen infiniten Regress gelockt haben, viel Umdenken erforern. Wir müssen uns klar darüber werden, daß ein substantielles Maß intelligent verbrachter Freizeit eine Grundvoraussetzung angenehmens Lebens ist.
Als abstrakte, papierene Vorlage betrachtet, werden die hier gemachten Vorschläge im Großen und Ganzen jedem, der bereit ist, die ihnen zu Grunde liegende Logik nachzuvollziehen, als vernünftig erscheinen. Seit ich jedoch begann, mich für den entropischen Charakter des ökonomischen Prozesses zu interessieren, werde ich einen Gedanken nicht los. Wird die Menschheit auf ein Programm hören, daß eine Beschneidung ihrer Sucht nach exosomatischem Komfort mit sich bringt? Vielleicht ist es das Schiksal der Menschheit ein kurzes, aufregendes und extravagantes Dasein zu führen, anstelle einer langen, ereignislosen und vegetativen Existenz.
Laß andere Spezien - die Amöben etwa - ohne geistige Ambitionen die sich noch lange im Licht der Sonne badende Erde erben.

Der Tenor dieses Programms kehrt wieder in dem vorliegenden - rd. 15 Jahre später verfaßten - Aufsatz. An den Problemen und ihren erhofften Lösungsmöglichkeiten hat sich bislang, dies müßte sich jeder eingestehen, der die "Minimalpunkte" für zumindest nicht unvernünftig hält, noch wenig geändert - außer dem nicht zu unterschätzenden Hoffnungsschimmer, den die USA-UdSSR - Abrüstungsverhandlungen im Sept. 1987 erwecken. Was Roegen aber in seinem neueren Schlußsatz nur als Frage aufwirft, hatte er 1972 präziser schon als skeptische "Alternative" skizziert, die man als eine ökologische Variation des Rosa Luxemburgschen Satzes ("Sozialismus oder Barberei") lesen könnte: "Vielleicht ist es das Schicksal des Menschen, ein kurzes, aber hitziges, aufregendes und extravagantes Leben zu führen anstatt lange und ereignislos dahinzuvegetieren. Lassen wir doch beispielsweise die Amöben, die keine geistigen Ziele verfolgen, eine sonnenüberflutete Erde (er)erben." (1976, S.35)
Die "Klugheit" einer ökologischen Wirtschaftsforschung wird sich nicht zuletzt daran messen können, wieweit es ihr gelingt, die Roegenschen Vorleistungen für eine neue Bioökonomie für ihre weitere theoretische und praktische Arbeits fruchtbar zu machen, um somit mit herauszufinden, ob das kurze extravagante Leben unser Schicksal sein muß, oder nicht auch - um in Roegens Alternative zu bleiben - eine extravagante Existenz denkmöglich und lebensfähig wäre.

Literaturhinweise

- J.C.Dragan/M.C.Demetrescu: Entropy and Bioeconomics. The New Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen, Milano 1986

- Jan Robert Bloch: Arnoldshain - Ökonomie und Zeit, Tagungsbericht in: Informationsdienst IÖW/VÖW Nr. 3/1987, S.7

- Dieter Groh: Zur Einführung, in: Edward P. Thompson: Plebeische Kultur und moralische Ökonomie. Aufsätze zur englischen Sozialgeschichte des 18. und 19. Jahrhunderts, Sozialgeschichtliche Bibliothek, Hrsgg. v. D. Groh, Frankfurt/M-Berlin-Wien, 198o

- A. M. Tang, F. M. Westfield, J. S. Worley (Eds.): Evolution, Welfare and Time in Economics: Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen, Lexington, Mass. 1976

- C.F.v. Weizsäcker /J.Juilfs: Physik der Gegenwart, 2.Aufl.Göttingen 1958

- Erich Jantsch: Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist, München/ Wien 1979

-Günter Altner (Hg.):Die Welt als offenes System.Eine Kontroverse um das Werk von Ilya Prigogine,Frankfurt/M.1986

- Ernst v. Weizsäcker (Hg.): Offene Systeme I - Beiträge zur Zeitstruktur von Information, Entropie und Evolution, Stuttgart 1974 (2. erw. Aufl. für 1987 angekündigt)

- P. Glansdorff,I. Prigogine: Thermodynamic Theory of Structure,Stability and Fluctuations, New York 1971

- Carl F.v. Weizsäcker: Evolution und Entropiewachstum, in: Offene Systeme I, 1974 ,S.2oo-221

- NGR: Analytical Economics: Issues and Problems, Cambrige, Mass. 1966

- NGR: The Entropy Law and the Economic Problem, Cambrige, Mass. 1971

- NGR: Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays, Oxford 1976

- NGR: Bioeconomics, Princeton (in Vorbereitung)

- NGR: Was geschieht mit der Materie im Wirtschaftsprozeß? In: Recycling: Lösung der Umweltkrise ? Brennpunkte. Publikation des Gottlieb Duttweiler Instituts, Band V, Nr. 2 1972, S. 17-28 (deutsche Übersetzung von The Entropy Law and the Economic Problem 1971)

- NGR: Mechanistisches Dogma und Nationalökonomie. In: Der öffentliche Sektor, Forschungs Memoranden II, Nr. 4 (Dezember 1976), S. 4-17

- NGR: The measure of Information: A critique, "Abstracts", IVth International Congress of Logic, Methodology and Philosophy of Science, Bucharest 1971, S. 139-4o

- NGR: Matter matters too, in: Kenneth D.Wilson (Ed.): Prospects for Growth: Changing Expectations for the future, New York 1977, S. 293 - 313

- NGR: Matter: A Resource Ignored by Thermodynamics, in: Future Sources of Organic Raw Materials, CEMRAWN I (Invited lectures at the World Conference on Future Sources of Organic Raw Materials, Toronto, July lo-13,1978), L.E.St-Pierre and R.G. Brown (Eds.), Oxford 198o, S. 79-87

- NGR: Demain la Decroissance, Lausanne/ Paris 1979

- NGR: Das Wechselspiel von institutionellen und materiellen Faktoren : das Problem und sein Status, in : E. Matzner/J. Kregel/A. Roncaglia (Hsg.): Arbeit für Alle ist möglich. Über ökonomische und institutionelle Bedingungen erfolgreicher Beschäftigungs-und Arbeitsmarktpolitik, Berlin 1987,S.313-34o

- NGR: Feasible recipes versus viable technologies (invited adress at the sixtheenth Atlantic Economic Conference, Okt. 6-9, 1983), Atlantic Economic Journal, Vol. XII, Vol 1, März 1984, S. 21-31

ANHANG 1

Nicholas Georgescu-Roegen u.a.:

Für eine menschliche Ökonomie

Die Entwicklung unseres weltweiten Haushalts "Erde" nähert sich einer Krise, von deren Lösung das Überleben des Menschen abhängt, einer Krise, deren Dimensionen sich an den steigenden Bevölkerungszahlen, dem unkontrollierbaren industriellen Wachstum und der Umweltverschmutzung sowie drohenden Hungersnöten, Kriegen und dem biologischen Zusammenbruch ablesen lassen.
Diese Entwicklung ist jedoch nicht nur von unerbittlichen Naturgesetzen, sondern vor allem von dem menschlichen Willen bestimmt worden, der auf die Natur einwirkt. Der Mensch hat sein Schicksal in einer langen Geschichte von Entscheidungen geformt, für die er selbst verantwortlich ist; er kann den Kurs dieses Schicksals durch neue, bewußte Entscheidungen, durch eine neue Willensanstrengung ändern. Dafür bedarf es zunächst jedoch einer neuen Sichtweise der Dinge.

Als Ökonomen haben wir vor allem die Aufgabe, wirtschaftliche Prozesse in ihren Abläufen zu beobachten, zu beschreiben und zu analysieren. In den letzten zweihundert Jahren sind die Ökonomen zunehmend zu Stellungnahmen aufgefordert worden, und sie haben sich nicht darauf beschränkt, die Wirtschaftsordnung zu analysieren, zu beschreiben, meßbar zu machen und Theorien aufzustellen, sondern sie haben auch Ratschläge erteilt, geplant und auf den Ablauf wirtschaftlicher Angelegenheiten aktiv eingewirkt. Die Macht - und damit auch die Verantwortung - der Ökonomen hat außerordentlich zugenommen.

In der Vergangenheit ist Produktion als Wohltat betrachtet worden. Daß sie auch nachteilige Folgen hat, ist erst in jüngster Zeit sichtbar geworden. Produktion verschlingt notwendigerweise unsere endlichen Vorräte an Rohstofen und Energie, während sie gleichzeitig unsere ebenfalls nur begrenzt aufnahmefähigen ökologischen Systeme mit den Abfällen ihrer Herstellungsprozesse überschwemmt. Das herkömmliche Maß des Ökonomen für die nationale und soziale Gesundheit ist das Wachstum gewesen. Aber das andauernde industrielle Wachstum in bereits hochindustrialisierten Gebieten ist nur von begrenztem Wert; die gegenwärtige Produktion wächst auf Kosten zukünftiger Produktion und auf Kosten der empfindlichen, mehr und mehr bedrohten Umwelt.

Die Tatsache, daß unser System endlich ist und es keinen grenzenlosen Energieverbrauch geben kann, konfrontiert uns an jeder Stelle des wirtschaftlichen Prozesses, in der Planung, der Entwicklung und der Produktion, mit einer moralischen Entscheidung. Was müssen wir notwendigerweise tun? Welches sind die tatsächlichen langfristigen Kosten der Produktion, und wer soll für sie aufkommen? Was liegt wirklich im Interesse des Menschen, und zwar nicht nur des gegenwärtigen Menschen, sondern des Menschen, betrachtet als eine dauerhafte Spezies? Selbst die aus der Sicht des Ökonomen klare Formulierung der Möglichkeiten, die vor uns liegen,

ist eine ethische und nicht etwa eine rein analytische Aufgabe; die Ökonomen sollten diesen ethischen Bestandteil ihrer Arbeit anerkennen.

Wir rufen unsere Kollegen auf, ihre Rolle bei der Verwaltung unserer irdischen Heimat wahrzunehmen und sich den Bemühungen anderer Wissenschaftler und Planer, anderer Männer und Frauen aus allen Gebieten des Denkens und Strebens anzuschließen, um das Überleben der Menschheit zu sichern. Die Volkswirtschaftslehre hat ebenso wie andere Forschungsdisziplinen, um der Exaktheit und Objektivität willen, im letzten Jahrhundert mehr und mehr dazu geneigt, ihr Gebiet von denen anderer zu isolieren. Aber die Zeiten, in denen Wirtschaftswissenschaftler in der Abgeschlossenheit fruchtbar arbeiten konnten, sind vorbei.

Wir müssen eine neue Ökonomie entwickeln, deren Zweck es ist, mit den Vorräten hauszuhalten und eine rationale Kontrolle über die Entwicklung und Anwendung von Technologien in dem Sinne zu erlangen, daß sie - statt steigenden Profiten, der Kriegführung oder dem nationalen Prestige - den wahren menschlichen Bedürfnissen dienen. Wir brauchen eine Ökonomie des Überlebens oder mehr noch, der Hoffnung - die Theorie und die Einsicht für eine weltweite Wirtschaft, die sich auf Gerechtigkeit gründet und es ermöglicht, den Reichtum der Erde in der Gegenwart und in der Zukunft gleichmäßig unter ihren Bewohnern zu verteilen.

Es ist einsichtig, daß wir eine separate Nationalökonomie sinnvollerweise nicht länger in Betracht ziehen können, ohne ihre Beziehungen zu einem größeren, weltweiten System zu berücksichtigen. Aber die Ökonomen können mehr tun als nur die komplizierten Beziehungen zwischen wirtschaftlichen Einheiten zu messen und zu beschreiben; Wir können aktiv an einer neuen Rangordnung von Prioritäten arbeiten, die die engen Interessen nationaler Souveränität überwindet und statt dessen den Interessen der Weltgemeinschaft dient. Wir müssen das Ideal des Wachstums, das als Ersatz für die gleichmäßige Verteilung des Wohlstands gedient hat, durch eine menschlichere Sichtweise ersetzen, in der Produktion und Konsum den Zielen des Überlebens und der Gerechtigkeit untergeordnet sind.

Gegenwärtig kommt eine Minorität der Erdbevölkerung in den Genuß eines unangemessenen hohen Prozentsatzes an Rohstoffen und industriellen Kapazitäten. Diese industriellen Wirtschaftssysteme, kapitalistische wie sozialistische, müssen Wege der Zusammenarbeit mit den Wirtschaftssystemen der Entwicklungsländer finden, um das Ungleichgewicht zu korrigieren, ohne einen ideologischen oder imperialistischen Wettstreit zu verfolgen und ohne die Menschen auszubeuten, denen zu helfen sie beabsichtigen. Will man eine gleichmäßige Verteilung des Wohlstands in der Welt erreichen, so müssen die Menschen der Industrienationen auf das gegenwärtig scheinbar uneingeschränkte Recht verzichten, was immer ihnen an Quellen zugänglich ist, auszuschöpfen, und wir als Ökonomen müssen unseren Teil dazu beitragen, die menschlichen Werte auf dieses Ziel hin neu zu formieren. Die Zufälle der Geschichte und der Geographie dürfen nicht länger als vernunftmäßige Erklärung für Ungerechtigkeiten dienen.

Die Aufgabe für den Ökonomen ist insofern völlig neu und außerordentlich schwierig. Viele Leute verlieren angesichts der heute zugänglichen Daten - Trends des Bevölkerungswachstums, der Umweltverschmutzung, des Rohstoffverbrauchs und der sozialen Umwälzungen - alle Hoffnung und meinen, voller Pessimismus feststellen zu können, daß der Punkt, an dem es kein Zurück mehr gibt, um unserem Rendezvous mit dem Desaster noch ausweichen zu können, bereits hinter uns läge; man könne nichts mehr tun. Aber Verzweiflung ist ein Standpunkt, den wir zurückweisen müssen. Für uns ist der moralische Imperativ der, eine neue Sichtweise zu entwickeln, eine Straße des überlebens durch ein tückisches Land zu schlagen, in dem es keine Straße gibt. Zur Zeit verfügen die Menschen über den Reichtum und die Technologie, die ihnen nicht nur ermöglichen, für eine lange Zeit zu überleben, sondern auch, für sich und alle ihre Kinder eine Welt zu schaffen, in der es sich mit Würde, Hoffnung und Behaglichkeit leben läßt; aber sie müssen sich dazu entschließen, es zu tun. Wir rufen die Ökonomen auf, eine neue Sichtweise entwerfen zu helfen, die es den Menschen ermöglicht, ihren Reichtum ihren eigenen Interessen gemäß einzusetzen - bei möglichem Dissens über die Einzelheiten der Methode und des Vorgehens, aber ausgesprochener Einigkeit über die Ziele des Überlebens und der Gerechtigkeit.

(Entwurf von Nicholas Georgescu-Roegen unter Mitwirkung von Kenneth Boulding und Herman Daly, unterzeichnet von über 200 Ökonomen. Aus: Technologie und Politik, rororo aktuell, Bd. 12/1978, S. 87 ff.)

ANHANG 2

Ausgewählte bibliographische Angaben zum Werk von N. Georgescu-Roegen

(Diese Auswahl basiert auf der von NGR erstellten Publikationsliste und verwendet die dortige Nummierung; diese Liste ist zusammen mit einem ebenfalls von NGR erstellten Curriculum Vitae - wie im Editorial erwähnt - bei der IÖW-Geschäftsstelle zu beziehen).

Books and Pamphlets:

3. Activity Analysis of Produktion and Allocation, co-editor with T. C. Koopmans, et al., New York: John H. Wiley and Sons, 1951, pp. xiv + 404.

4. Analytical Economics: Issues and Problems, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1966, pp. xvi + 434.

7. The Entropy Law and the Economic Process, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971, pp. xviii + 450.

9. Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays, Oxford: Pergamon Press, pp. xxviii + 380, 1976.

16. Bioeconomics, Princeton: Princeton University Press (in preparation).

Articles:

2. "Le problème de la recherche des composantes cycliques d'un phénomène" (Dissertation), Journal de la Société de Statistique de Paris, (October 1930), pp. 552.

7. "Note on a Proposition of Pareto," Quarterly Journal of Economics, XLIX (August 1935), pp. 706-14.

8. "Fixed Coefficients of Production and the Marginal Productivity, "Review of Economic Studies (October 1935), pp. 40-49.

9. "Marginal Utility of Money and Elasticities of Demand, "Quarterly Journal of Economics," L (May 1936), pp. 533-39.

10. "The Pure Theory of Consumer's Behavior," Quarterly Journal of Economics," L (August 1946), pp. 545-93.

25. "The Theory of Choice and the Constancy of Economic Laws," Quarterly Journal of Economics, LXIV (February 1950), pp. 125-138.

26. "Leontief's System in the Light of Recent Results," Review of Economics and Statistics, XXXII (August 1950), pp. 214-22.

35. "Note on the Economic Equilibrium for Nonlinear Models," Econometrica, XXII (January 1954), pp. 54-57.

45. "Economic Theory and Agrarian Economics," Oxford Economic Papers, N. S., XII (February 1960), pp. 1-40.

46. "Mathematical Proofs of the Breaddown of Capitalism," Econometrica, XXVIII (April 1963), pp. 225-43. (A special issue of essays in honor of Ragnar Frisch.)

48. "Some Thoughts on Growth Models: A Reply," Econometrica, XXXI (January-April 1963), pp. 230-36, 239.

57. "An Epistemoligical Analysis of Statistics is the Science of Rational Guessing," Acta Logica, X (1967), pp. 61-91.

59. "Utility," International Encyclopedia of Social Sciences, New York: Macmillan and Free Press, 1968, Vol. XVI, pp. 235-67.

61. "Process in Farming versus Process in Manufacturing: A Problem of Balanced Development," in Economic Problems of Agriculture in Industial Societies, Ugo Papi and Charles Nunn, eds. (Proceedings of a Conference of the International Economic Association, Rome, 1965), London: Macimillan, 1969, pp. 497-528.

64. "A Critique of Statistical Principles in Relation to Social Phenomena," Sociological Abstracts, XVII (August 1969), No. V, Suppl. 6, p. 9.

66. "The Institutional Aspects of Peasant Communities: An Analytical View," Chapter 4 in Subsistence Agriculture and Economic Development (Proceedings of an International Seminar, Honolulu, 1965), Clifton R. Wharton, Jr., ed., Chicago: Aldine Publishing Company, 1969, pp. 61-99.

71. "The Economics of Production" (Richard T. Ely Lecture, 1969), American Economic Review, Papers and Proceedings of the Eighty-second Annual Meeting, LX (May 1970)m pp. 1-9.

78. "Analysis versus Dialectics in Economics," in Micea Buescu, ed., Ensaios Economicos, Homagem a Octávio Gouvea de Bulhoes, Rio de Janeiro: APED, 1972, pp. 251-78.

79. "Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production," American Journal of Agricultural Economics, LIV (May 1972), pp. 279-94.

83. "Utility and Value in Economic Thought," Dictionary of the History of Ideas, 4 Vols., New York: Scribner's 1973, Vol. IV, pp. 450-58.

95. "Mechanistic Dogma and Economics," Methodology and Science, VII, No. 3, 1974, pp. 174-84.

96. "Dynamic Models and Economic Growth," Economie appliquée, XXVII, No. 4 (1974), pp. 529-63. Paper read at the International Colloquium on "Equilibrium and Disequilibrium in Economic Theory," Instiute of Advanced Studies, Vienna, July 3-6, 1974.

97. "Energy and Economic Myths" (Lecture delivered on November 8, 1972, at the School of Forestry and Environmental Studies, Yale University, in the Series 'Limits to Growth: The Equilibrium State and Human Society'), Southern Economic Journal, XLI (January 1975), pp. 347-81.

98. "Bio-Economic Aspects of Entropy," in Entropy and Information in Science and Philosophy, Jiři Zeman, ed., Amsterdam: Elsevier, 1975, pp. 125-42.

100. "A Critique of the Measure of Information" (Abstract of a keynote address to Section 5, Third International Congress of Cybernetics and Systems, Bucharest, August 1975), Summaries of Papers, 1975, pp. 75-76.

102. "Technology and Economic Policy," in Proceedings of Centennial Symposium on Technology and Public Policy, Howard L. Hartman, ed., Vanderbilt University, November 6-7, 1975, pp. 43-50.

104. "Vilfredo Pareto and His Theory of Ophelimity," in Convegno Internazionale Vilfredo Pareto (Roma, 25-27 October 1973), Rome: Academia Nazionale dei Lincei, 1975, pp. 223-65.

105. "Economics or Bioeconomics?" (Paper read at the AEA Meetings, Dallas, December 29, 1975).

106. "A Different Economic Perspective" (Paper read at the AAAS Meeting, Boston, February 21, 1976).

107. "Economic Growth and Its Representation by Models," Atlantic Economic Journal, IV (April 1976), pp. 1-8.

112. "Is Perpetual Movement of the Third Kind Possible?" Paper read at the Colloquium ENST, University of Paris (Dauphine), November 19, 1976.

114. "Economics and Mankind's Ecological Problem," in U.S. Economic Growth from 1976 to 1986: Prospects, Problems, and Patterns, Vol. 7, The Limits to Growth, Joint Economic Committee, Congress of the United States, U.S. Government Printing Office, 17 December 1976, pp. 62-91.

118. "What Thermodynamics and Biology Can Teach Economists," (Luncheon Address at the Atlantic Economic Association, Washington, D.C., October 1976), Atlantic Economic Journal, V (March 1977), pp. 13-21.

119. "The Steady State and Ecological Salvation: A Thermodynamic Analysis," Bioscience, Vol. XXVII (April 1977), pp. 266-270.

123. "A New Wood Age for Mankind?" Opening address at the Third Annual General Meeting and Conference of the Solar Energy Society of Canada, Edmonton, Alberta, August 22-24, 1977.

125. "Inequality, Limits and Growth from a Bioeconomic Viewpoint," Review of Social Economy, XXXV (December 1977), pp. 361-75.

130. "Solar Shading" (Letter to the editor), International Herald Tribune, 12 May 1978, p. 4.

133. "Is Entropy Bootlegging Possible?", Paper distributed at the Symposium sponsored by Edison Electric Institute and Praeger Publishers, June, 1978.

135. "Matter: A Resource Ignored by Thermodynamics," Abstracts, World Conference on Future Sources of Organic Raw Materials (Toronto, July 10-13, 1978), pp. A: 8-9.

136. "Dynamic Models and Economic Growth," (A Conference of the Institute for Advanced Studies, Vienna, Austria, July 3-5, 1974), in Gerhard Schwödiauer, ed., Equilibrium and Disequilibrium in Economic Theory, Dordrecht, Holland: Reidel, 1978, pp. 413-449.

140. "Inequality, Limits, and Growth," (Reprint of 126), Proceedings of the Third International Congress of Cybernetics and Systems (Bucharest, 25-29 August 1975), J. Rose and C. Bilciu, eds., New York: Springer Verlag, n.d., vol. I, pp. 743-752.

143. "The Energetic Dogma, Energy Analysis and Technology Assessment," Der Öffentliche Sektor (Vienna), IV (September 1978), pp. 3-42.

145. "Technology Assessment: The Case of the Direct Use of Solar Energy," Atlantic Economic Journal, VI (December 1978), pp. 15-21.

153. "Comments on the Paper by Daly and Stiglitz," in V. Kerry Smith, ed., Scrcity and Growth Reconsidered, A Conference on Natural Resource Scarcity, Resources for the Future, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1979, pp. 95-105.

156. "Worldization of Resources and Common Properties of the World: An Evolutionary View" (Special public lecture on Economics of Resources and Energy, Tokyo, 2 August 1979), Journal of the Japan Economic Research Center, 1 September 1979, pp. 19-24.

159. "The Role of Matter in the Substitution in Energies" (Third International Colloquium of Petroleum Economics, Québec, November 4, 1977), Energy: International Cooperation or Crisis, Antoine Ayoub, ed., Québec: Presses de l'Université Laval, 1979, pp. 119-131.

167. "Afterword," in Jeremy Rifkin, Entropy, New York: Viking, 1980, pp. 261-269.

171. "On Neo-Populism an Marxism," The Journal of Peasant Studies, VIII, Nol 2 (January 1981), pp. 242-243.

177. "Energy, Matter, and Economic Valuation: Where Do We Stand?" (Paper read at the AAAS annual meeting, San Francisco, 5 January 1980), in Herman E. Daly and Alvaro Umana, eds., Energy, Economics, and the Environment, Boulder, CO: Westview Press,, 1981, pp. 193-200.

179. "Utility," in Encyclopedia of Economics, New York: Mc Graw-Hill, 1982,pp. 934-941.

182. "Energetic Dogma, Energetic Economics, and Viable Technologies," John R. Moroney, ed., Advances in the Economics of Energy and Resources, vol. 4, Greenwich, Conn. JAI Press, 1982, pp. 1-39.

188. "The Promethean Condition of Viable Technologies," Paper read at the Conference on Energy in American History, Sept. 30, 1982, Mountain Lake, VA. Proceedings forthcoming in Materials and Society, vol. 7, Nos. 3 and 4, 1983, pp. 425-435. Also in Energy in American History, Arthur Donovan, ed., New York: Pergamon Press.

189. "Hermann Heinrich Gossen: His Life and Work in Historial Perspective," Introduction to Hermann Heinrich Gossen, The Gossen, The Laws of Human Relations and the Rules of Human Actions Derived Therefrom, R. C. Blitz, tr., Cambridge, Mass.: M.I.T. Press, 1983, pp. XI-CXLV.

193. "Feasible Recipes Versus Viable Technologies," (Invited lecture at the 16th Atlantic Economic Conference, Oct. 6-9, 1983, Philadelphia), Atlantic Economic Journal, XII (March 1984), pp. 21-31.

198. "Evolution: A Tangled Notion," The 14th International Conference on the Unity of Science, Nov. 28 - Dec. 1, 1985. Proceedings published by Paragon House Publishers (forthcoming).

199. "Time and Value in Economics and in Gossen's System," Revista Internazionale di Scienze Economiche e Commerciali, Dec. 1985, XXXII, Nr. 12.

200. "The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect," in Eastern Economic Journal, January-March 1986, Vol. XII, Nr.1.

201. "Man and Produktion," in Foundations of Economics, Baranzini and Scazzieri, eds., Basil Blackwell Ltd., Oxford, U.K., 1986.

204. "Entropy," forthcoming in the New Palgrave Dictionary.

208. "Das Wechselspiel von institutionellen und matereiellen Factoren: das Problem und sein Status", in: E. Matzner, J. Kregel, and A. Roncaglia, eds., Arbeit für Alle ist möglich, Berlin,Sigma, 1987.

209. "Time and change in economics," in : E.K. Seifert (HG.): Ökonomie + Zeit, Ffm (Verlag Haag + Herchen im Erscheinen).

Publikationen des IÖW

- Reinhard Pfriem (Hg.): Ökologische Unternehmenspolitik. Campus Verlag, Frankfurt/M., New York 1986, 280 S., DM 25,- (verbilligt und portofrei beim IÖW zu bestellen)
- Abschätzung der Folgen eines Ausstiegs aus der Kernenergie. Gutachten im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums, 260 S., DM 45,-. (Englischsprachige Übersetzung der Kurzfassung des Gutachtens mit dem Titel „Phasing out Nuklear Power: A Boost for Innovation. Executive Summary of a Research Report".)
- Schriftenreihe Nr.1: Auswege aus dem industriellen Wachstumsdilemma. Broschüre zur IÖW-Tagung Nov. 1985, 144 S., zusammen mit den Vorbereitungsmaterialien (35 S.), DM 15,-
- Schriftenreihe Nr.2: Umweltentlastung durch wirtschaftlichen Strukturwandel (Dokumentation der IÖW-Tagung Nov. 1986), 150 S., DM 28,-
- Schriftenreihe Nr.3: Alternative Energiepolitik in der DDR und in West-Berlin. Möglichkeiten einer exemplarischen Kooperation in Mitteleuropa. Gutachten, 120 S., DM 20,-
- Schriftenreihe Nr.4: Die Auswirkungen der geplanten Müllverbrennungsanlage sowie die Entwicklung und Bewertung eines alternativen Abfallkonzeptes für Berlin-West. Gutachten, 141 S., DM 18,-
- Schriftenreihe Nr.5: Nicholas Georgescu-Roegen: The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect. IÖW-eigene Übersetzung ins Deutsche, mit Geleitwort, 70 S., DM 15,-
- Schriftenreihe Nr.6: Bodenschutzpolitik und ökologische Wirtschaftsforschung (Dokumente der VÖW-Tagung Juni 1987), 105 S., DM 20,-
- Schriftenreihe Nr.7: B. P. Priddat, J. Meran, St. Zundel: Ökologische Ethik der Ökonomie, 65 S., DM 15,-
- Schriftenreihe Nr.8: Jan C. Bongaerts, R. Andreas Kraemer: Haftung und Versicherung von Umweltschäden. IÖW-eigene Übersetzung, 50 S., DM 15,-
- Schriftenreihe Nr.9: Eberhard K. Seifert: Wirtschaftsethik in ökologischer Absicht, 50 S., DM 15,-
- Schriftenreihe Nr.10: Die regionale Wirtschaftsförderung – Bestandsaufnahme und Alternativen. Eine Untersuchung am Beispiel Niedersachsens, 120 S., DM 28,-